

Työnaikaisten liikenteenohjaussuunnitelmien simulointi PTV

VISSIM:llä

Kantatie 51 - Länsiväylä



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikennealan koulutusohjelma

Riihimäki, Kevät, 2017

Keijo Nieminen

Liikennealan koulutusohjelma
Riihimäki

Tekijä	Keijo Nieminen	Vuosi 2017
Työn nimi	Työnaikaisten liikenteenohjaussuunnitelmien simulointi PTV Vissim:llä	
Työn ohjaaja	Rami Tervo	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyöni tarkoituksena on mallintaa ja arvioida Destia Oy:n urakoi-
man hankkeen - Länsimetron liityntäyhteydet - työnaikaisten liikenteenoh-
jaussuunnitelmien suunnitteluratkaisujen toimivuus käyttäen apuna PTV
Vissimin mikrosimulointiohjelmaa. Työn toimeksiantaja on Destia Oy ja toi-
meksiantajan edustava ohjaaja on Olli Sihvola. Opinnäytetyön ohjaava
opettaja on Rami Tervo Hämeen ammattikorkeakoulusta.

Työssäni pyrin jäljittelemään liikenteen käyttäytymistä mahdollisimman
tarkasti tietokonemallin avulla, tunnistamaan mahdollisia pullonkauloja ja
vaaratilanteita, tutkia liikenteen vuorovaikutusta ja havainnollistamaan
niitä animaatioiden avulla sekä vertaamaan tietokonemalleja oikean elä-
män kokemuksiini. Ammattiopintokursseistani pääsen simuloinnin lisäksi
hyödyntämään liikennelainsäädännön, -suunnittelun, -turvallisuuden ja lii-
kennepsykologian opintojani.

Simulointikohteekseni valitsin työmaalla äkillisen poikkeustilanteen ai-
heuttaneen työvaiheen, jonka takia ylimääräisen, suunnittelemtoman
liikenteenohjaussuunnitelman toteuttaminen oli tarpeen. Tarkoituksena
on tutkia tämän ylimääräisen liikenteenohjaussuunnitelman toimivuuden
arviointia viivytystarkastelun näkökulmasta ja verrata tuloksia kohteen
normaaliolosuhteeseen. Malli on suunnitelma 3-ajorataisesta moottori-
tiestä, jossa on yhdessä kaksi liittymisrampia ja kiihdytyskaista.

Tiegeometrialla ja etenkin kaarresäteellä on selkeitä vaikutuksia ajonopeu-
den valintaan. Näkemykseni kohdalta simulointiohjelmat antavat vähän-
kään monipuolisemmasta työnaikaisesta liikennejärjestelystä vain karke-
alla tasolla olevia toimivuustarkastelutuloksia.

Avainsanat liikenneturvallisuus, liikenteenohjaus, simulointi, tietyö, kaarteisuus

Sivut 40 sivua, joista liitteitä 3 sivua

Degree Programme in Traffic Management
Riihimäki

Author	Keijo Nieminen	Year 2017
Subject	Use of PTV Vissim in the simulation of on-site traffic control plans	
Supervisor	Rami Tervo	

ABSTRACT

The purpose of this thesis project was to simulate and evaluate on-site traffic control plans used in the Kt 51 - Länsiväylä, West metro connection project using the microsimulation program PTV Vissim. The commissioner of this thesis project was my current employer Destia Ltd. and the representative of the commissioner was Olli Sihvola. The supervisor teacher of this Bachelor's Thesis was Rami Tervo from Häme University of Applied Sciences.

In this project I strove to replicate traffic behavior as accurately as possible using a simulated computer model to identify plausible bottlenecks and other dangerous situations, to observe and examine traffic interactions using simulations and comparing these to personal real-life experiences. In addition to my simulation knowledge I also got to utilize my expertise in traffic legislation, traffic planning, traffic safety and basic traffic and human psychology in this project.

I chose to create a simulation model out of an unexpected slope failure incident that occurred at the worksite, which led to a desperate need for an unscheduled on-site traffic control plan. The ultimate purpose there was to examine the functionality of this unscheduled traffic control plan from the point of view of delay analysis, and to compare the results to normal conditions. The simulation model was a reimplementation of a three-lane highway including an exit and an entry intersection with an acceleration ramp.

The geometry of the road and especially its curvature have clear effects on the choice of driving speeds. From my point of view, simulation programs present only approximate results when simulating even slightly more complicated work-based traffic arrangements.

Keywords Traffic safety, traffic control, simulation, road construction, curvature

Pages 40 pages including appendices 3 pages

TERMISTÖ

Aamuhuipputunti = (AHT) tarkoittaa suurinta yhden aamutunnin aikana esiintynyttä liikennemäärää. Usein aamuhuipputunti osuu aikavälille 06:00 – 09:00.

Analyyttinen menetelmä = Tarkoitetaan liikenteen toimivuuden arvioimiseen ja välityskyvyn laskemiseen käytettäviä laskentamalleja, yhtälöitä, kaavioita ja taulukoita. Analyttisistä menetelmistä on kehitetty myös tietokoneohjelmia.

Huipputunti = (HT) tarkoittaa sitä tunnin ajanjaksoa, jolloin liikennemäärä on tarkasteltavassa kohteessa korkeimmillaan.

Iltahuipputunti = (IHT) tarkoittaa suurinta yhden alkuillan tunnin ajanjaksona esiintynyttä liikennemäärää. Yleensä iltahuipputunti osuu aikavälille 15:00 – 18:00.

Kuormitusaste = Kuormitusaste osoittaa kuinka suuri osuus tieosuuden maksimivälityskyvystä on käytössä.

LOS = Liikenteenohjaussuunnitelma.

Pullonkaula = Tekninen pullonkaula on kaventumisen aiheuttama häiriö joka johtaa alentuneen purkaus- tai kaistavirtaukseen ja välityskykyyn. Usein kapea, kaareva tai kaventunut tienkohta.

Siemenluku = Eli Seed Value liittyy simulointimallin satunnaisuuden tuottamiseen. Siemenluvulla annetaan simulointiohjelmalle käsky sille, missä syklissä ohjelma syöttää ajoneuvoja tarkasteltavalle verkolle annetun kysynnän puitteissa. Siemenluku määrää tuotettavien satunnaislukujen sarjat. Sama siemenluku tuottaa täsmälleen saman joukon satunnaislukuja samalla generaattorilla tuotettuna, eli toisin sanoen samalla siemenluvulla saadaan samat tulokset.

Simulointi = Simulointi tai simulaatio on todellisuuden, eli ympäröivän maailman jäljittelyä todellisuutta kuvaavan mallin avulla. Tietokonesimuloinnissa tietokoneen sisään rakennetaan keinotekoinen todellisuus, jonka avulla yritetään jäljitellä oikeaa todellisuutta.

Välityskyky = Liikenneyksiköiden enimmäismäärä, joka tietyssä aikayksikössä voi läpäistä tarkasteltavana olevan kaista- tai tieosuuden vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖNAIKAISET LIIKENNEJÄRJESTELYT	3
2.1	Työnaikainen liikenteenohjaussuunnitelma	3
2.2	Työnaikaisissa liikennejärjestelyissä käytetyt ohjauslaitteet.....	3
2.3	Kaiteet ja muut suojarakenteet sekä työmaan vaaratekijät.....	4
3	LÄNSIMETRON LIITYNTÄYHTEYDET – KT51	6
3.1	Liikennejärjestelyt hankkeella.....	7
3.2	Liikenteenohjaussuunnitelmien toteutus hankkeella.....	9
3.3	Hyväksyttäminen ja tiedottaminen.....	9
4	LUISKASORTUMA RAMPILLA E1R2	10
4.1	Liikenteenohjaussuunnitelma LOS_2014_14A yleisesti.....	10
5	TIELIIKENTTEEN TOIMIVUUDEN ARVIOINTI	11
5.1	Analyttiset menetelmät ja ohjelmat	11
5.2	Liikenteen välityskyky.....	12
5.3	Simulointiohjelmat	14
6	TIELIIKENTTEEN SIMULOINTIOHJELMA PTV VISSIM.....	15
6.1	Mikrosimulointi ja erityiskohteiden simulointi	15
6.2	Vissimin parametriarvot.....	15
6.2.1	Ajoneuvoparametrit	16
6.2.2	Ajokäyttäytymisen parametrit	16
6.2.3	Kaistanvaihtomallin parametrit.....	17
6.2.4	Alennetun nopeustason alueet	18
7	AJOKÄYTTÄYTYMISEN ERI VAIKUTUSTEKIJÄT.....	19
7.1	Tiegeometrian vaikutus ajokäyttäytymiseen	19
7.1.1	Kaarresäteen vaikutus ajonopeuden valintaan.....	19
8	LIIKENTENOHAUSSUUNNITELMAN ”LOS_2014_14A” TOIMIVUUSTARKASTELUVERKON RAKENTAMINEN.....	22
8.1	Verkon rakentaminen	22
8.2	Viivytyksen aiheuttajat.....	24
8.3	Toimivuustarkastelun suorittaminen.....	27
9	KOHTEN NORMAALILIIKENTTEEN TOIMIVUUSTARKASTELUVERKON RAKENTAMINEN	28
9.1	Toimivuustarkastelun suorittaminen.....	30
10	TULOKSET	31

10.1 Viivytystarkastelun tulokset	31
10.2 Keskinopeusvertailu	32
11 JOHTOPÄÄTÖKSET	35
LÄHTEET	37

Liitteet

Liite 1	Suunnitelmakartta M1 plv 2400 – 3300
Liite 2	Liikenteenohjaussuunnitelma LOS_2014_14A
Liite 3	LOS_2014_14A rampin E1R2 kaarteisuus CCR

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni simuloin Liikenneviraston tilaaman ja Destia Oy:n urakoiman hankkeen – Länsimetron liityntäyhteydet kt51 Länsiväylä - työnai-
kaista liikenteenohjaussuunnitelmaa käyttäen apuna saksalaista PTV Vis-
sim-mikrosimulointiohjelmalla.

Liikenteen mikrosimulointi kuvaa prosessia, jossa luodaan virtuaalinen malli jonkin tietyn kohteen liikenneinfrastruktuurista, jotta sekä autoilijoi-
den omaa, että autoilijoiden sekä kevyen liikenteen keskinäistä vuorovai-
kutusta voidaan tutkia. Valitsemani opinnäytetyön aihe kiinnostaa itseäni
erittäin paljon jo pelkästään siksi, että pääsen käyttämään paljon omaa ai-
neistoani tutussa työympäristössä. Omien liikenteenohjaussuunnitelmien
tarkastelu liikenteen simulointiohjelmalla ei voi olla mitään muuta kuin
oman itsensä kehittämistä.

Liikenneviraston omissa hankkeissa voidaan käyttää Liikenneviraston ”lii-
kenne tietyömaalla” – ohjeen mukaisia liikenteenohjaussuunnitelmia.
Nämä tyyppikuvapohjaiset suunnitelmat ovat kuitenkin vain harvoin to-
teutettavissa suoraan kohteeseen, jonka vuoksi ne vaativat usein erillistä
räätälöintiä tai uuden suunnitelman toteuttamista omana kokonaisuute-
naan.

Onnistunut liikenteenohjaussuunnitelma, ja sitä kautta toteutettava tie-
työmaan väliaikainen liikennejärjestely on liikenneturvallisuuden lisäksi
erittäin tärkeässä roolissa työmaan turvallisuuden ja tehokkuuden kanssa,
mutta myös yhä merkittävämmässä osassa urakoivan yrityksen liiketoimin-
nan kannalta.

Tämän opinnäytetyön tavoite on rakentaa mahdollisimman tarkka malli lii-
kenteenohjaussuunnitelmasta ”LOS_2014_14A” ja tutkia tämän ylimääräi-
sen liikenteenohjaussuunnitelman toimivuuden arviointia viivytystarkas-
telun näkökulmasta sekä verrata tuloksia kohteen normaaliolosuhteeseen.
Kyseinen liikenteenohjaussuunnitelma on suunniteltu 24.11.2014 ja se kä-
sittää suojaustoimet 5.9.2014 tapahtuneen eritasoliittymän luiskasortu-
man korjauksen ajaksi. Lisäksi tavoitteena on esitellä liikennesuunnittelijan
työkaluja ja tuoda esiin kerätty data, jotta jatkossa samankaltaisen suunni-
telman lopputoteutus olisi vähintään yhtä turvallinen ja kannattava.

Oppimistavoitteena pyrin kehittämään itseäni siten, että pystyisin jatkossa
suunnittelemaan yksinkertaisia, edullisia ja ennen kaikkea jokaista tien-
käyttäjää yhdenvertaisesti palvelevia, turvallisia liikenteenohjaussuunni-
telmia. Ammattiopintokursseistani pääsen simuloinnin lisäksi hyödyntä-
mään liikennelainsäädännön, -suunnittelun, -turvallisuuden ja liikennepsy-
kologian opintojani.

Useimmat työn edellyttämät pohjatiedot tulevat hankkeen omista arkistoista. Hyväksytyt ja hankkeen toteuttamisen aikana käytetyt liikenteenohjaussuunnitelmat ovat minun tekemiäni. Lähteet liikennemäärätiedoista ovat Liikennevirastolta ja Espoon kaupungilta. Tässä opinnäytetyössä käytetyt valokuvat ovat opinnäytetyön tekijän itse ottamia, ellei toisin mainita. Työn tilaajana toimii työnantajani Destia Oy.

2 TYÖNAIKAISET LIIKENNEJÄRJESTELYT

Yleinen liikenne aiheuttaa tiellä tehtävissä töissä työntekijöille vakavia vaaratilanteita, ja vastaavasti työskentely yleisen liikenteen käyttämillä liikennealueilla aiheuttaa puolestaan mahdollisia vaaratilanteita tienkäyttäjille. Valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta (VNa 205/2009) liikennealueella tehtävä työ luokitellaan edellä olevista syistä töihin, joihin liittyy erityisiä vaaroja työntekijöiden turvallisuudelle. (Liikennevirasto, 2015)

Työskenneltäessä katualueilla sekä muilla yleisillä alueilla on ensiarvoisen tärkeää minimoida liikenteelle koituvat haitat sekä maksimoida työn sujuvuus toteutus. Tähän tavoitteeseen päästään suunnittelemalla ja toteuttamalla mahdollisimman toimivat ja selkeät, tilapäiset liikennejärjestelyt, joissa kiinnitetään erityisesti huomiota työmaan sekä tienkäyttäjien turvallisuuteen sekä katualueen järjestykseen ja viihtyvyyteen. (Suomen kuntatekniikan yhdistys, 1/2013)

Työnaikaisten liikennejärjestelyiden päätöksistä määrätään useissa erilaissa. Näistä tärkeimmät ovat työturvallisuuslaki, tieliikennelaki, maankäyttö- ja rakennuslaki, tieliikenneasetus sekä laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta. Näissä laeissa määrätään liikenteenohjauslaitteiden, liikennemerkkien ja liikenteenohjaajien käytöstä, tie- ja katualueilla tapahtuvien työmaiden turvallisuudesta sekä työmaalla työskentelevien eri toimijoiden vastuualueista. (Finlex, 1978)

2.1 Työnaikainen liikenteenohjaussuunnitelma

Työnaikaisessa liikenteenohjaussuunnitelmassa pyritään esittämään mahdollisimman yksityiskohtaisesti jokaisen liikennemuodon kulkureitit työkohteen kohdalla, tarvittavien liikennemerkkien ja muiden liikenteenohjauslaitteiden sijoitukset sekä työalueen ja työkohteen suojaus. Lisäksi, mikäli työ tehdään useassa vaiheessa, esitetään jokaisen työvaiheen mukainen vaiheistus omana liikenteenohjaussuunnitelmana. Tarkastelemieni kuntien ohjeistuksissa yleisimmin käytetyt mittakaavat olivat 1:200, 1:500 ja 1:1000.

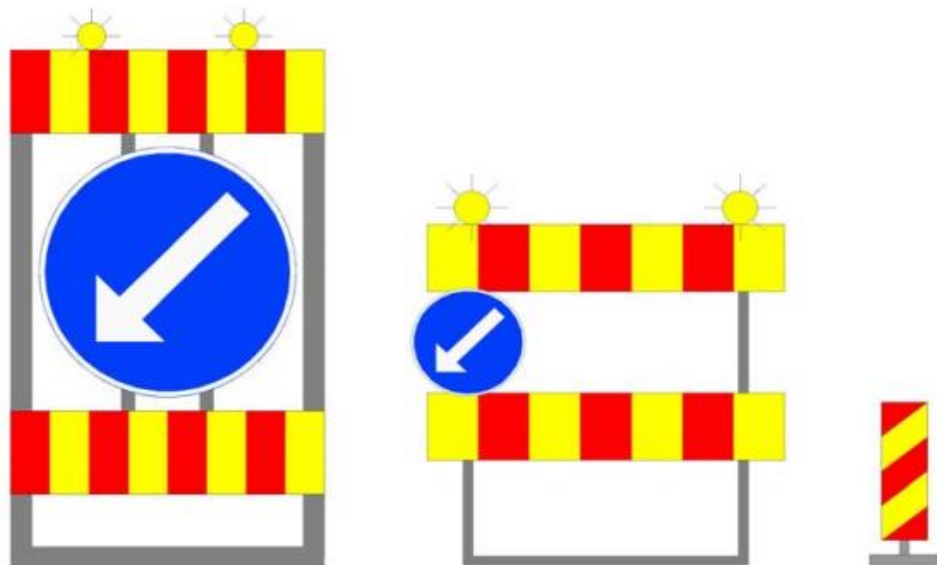
2.2 Työnaikaisissa liikennejärjestelyissä käytetyt ohjauslaitteet

Työnaikaisissa liikennejärjestelyissä käytetään joko normaalikokoisia tai suurikokoisia liikennemerkkejä. Liikenteenohjaajan pysäytysmerkki (311, Ajoneuvolla ajo kielletty) on ainoa sallittu pienikokoinen liikennemerkki. Suurikokoisia liikennemerkkejä käytetään moottori- ja moottoriliikenteillä sekä muilla erittäin vilkasliikenteisillä kaksiajorataisilla teillä (KVL \geq 15 000 ajon/d). (Liikennevirasto, 2015)



Kuva 1. Varoitusmerkki 142 – Tietyömaa (Liikennevirasto, 2013).

Sulkulaitteet ja varoituslaitteet luokitellaan kolmeen toimintaympäristöluokkaan S1, S2 ja S3. Toimintaympäristöluokista S3 on korkein ja S1 alin. S3-vaatimukset täyttäviä laitteita käytetään moottoriväylillä ja kaksiajoraitaisilla sekä vilkasliikenteisillä teillä ($KVL \geq 6000$ ajon/d). (Liikennevirasto, 2015)



Kuva 2. S3-luokan sulkuaite, S1-luokan sulkuaite sekä S3-luokan sulkupylväs (Liikennevirasto, 2013).

2.3 Kaiteet ja muut suojarakenteet sekä työmaan vaaratekijät

Työmaan suojaamiseen tarkoitetut kaiteet ovat jaettu eri suojausluokkiin, jotka kuvaavat sitä, millä tavalla rajoitetaan suistuvan auton joutumista vaaralliseen paikkaan tai tiellä työskentelevän työntekijän päälle (Liikennevirasto, 2013). Alla oleva listaus on Liikenneviraston ohjeesta 39/2013 ”Sulku- ja varoituslaitteet” ja siinä esitetään suojakaiteiden eri suojausluokat.

Suojausluokat ovat:

- K0** Suistumista ei estetä, mutta esimerkiksi sulkupylväillä parannetaan näkyvyyttä tien reunaan työkohteessa.
- K1** Alhaisella ajonopeudella tapahtuneet suistumiset estetään aukottomalla betonielementtijonolla. (Ei ole testattu SFS-EN 1317-2 mukaisesti)
- K2** Suistuminen estetään testatulla kaiteella, joka on mitoitettu henkilöautolle ja joustaa elementtijonona kuorma-auton törmäyksessä. Lisäksi liikennevirasto voi hyväksyä muunkin ratkaisun.
- K3** Suistuminen estetään testatulla kaiteella, joka on mitoitettu myös loiville kuorma-autotörmäyksille.

Tietyn tyyppisen kaiteen soveltuvuus ja lopullinen kaidevalinta työmaalle riippuu tien liikennemäärästä, nopeusrajoituksesta, vaaran laadusta ja väliaikaisen liikennejärjestelyn kestosta. (Liikennevirasto, 2013)

Taulukko 1. Kaideluokan valinta maantiellä. (Liikennevirasto, 2013)

Vaaran kesto	Liikennemäärä eri nopeusrajoituksilla									
	> 12 000 ajon/vrk				3 000 – 12 000			1 500 – 3 000		
	100	80	60	50	80	60	50	80	60	50
Lievä vaara ≥ 7 pv	K2	K1	K1	K1	K1	K1	K0	K0	K0	K0
Lievä vaara ≥ 30 pv	K2	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K0
Vakava vaara ≥ 3 pv	K3	K2	K2	K1	K2	K2	K1	K1	K1	K1
Vakava vaara ≥ 7 pv	K3	K2	K2	K1	K2	K2	K1	K1	K1	K1
Vakava vaara ≥ 30 pv	K3	K3	K2	K2	K3	K2	K2	K2	K2	K2

Suojausluokkien lisäksi on laadittu yhdeksän eri vakavan vaaran luokkaa sekä seitsemän lievän vaaran luokkaa kuvaamaan työkohteen mahdollisia vaaratekijöitä. Alla oleva listaus on Liikenneviraston ohjeesta 39/2013 ”Sulku- ja varoituslaitteet” ja siinä luokitellaan vaaraluokat tarkemmin.

Vakava vaara:

- P1** Liikenne johdetaan alle 4 m etäisyydellä sillan kaiteettomasta reunasta.
- P2** Sillan alla on vilkasliikenteinen rautatie, vilkas päätie tai pääkatu ja liikenne johdetaan alle 4 m etäisyydellä sillan kaiteettomasta reunasta.
- P3** Liikenne johdetaan alle 2 m etäisyydellä sillan kaiteettomasta reunasta tai muusta yli 2,5 m syvyydestä jyrkänteestä.
- P4** Ajokaista katkaistaan, siihen tehdään kaivanto, suuri sortumaherkkä rakennelma tai kaistalla työskentelee tai oleskelee lähes jatkuvasti työaikana ihmisiä, ja ajokaistaa käyttävän liikenteen näkökulmasta kysymyksessä on työmaan alku, jossa liikenne ohjataan viereiselle ajokaistalle tai kiertotielle.

- P5** Kaksiajorataisella tiellä työmaan alussa liikenne ohjataan vastaantulevan liikenteen kanssa samalla ajoradalle. Vaara lievenee, kun ajolinjat vakiintuvat.
- P6** Ajokaistan vieressä on alle 4 m etäisyydellä sillan tms. rakenteen tilapäisiä tukia, joihin törmääminen aiheuttaisi sortumavaaran.
- P7** Kiertotien jyrkän ulkokaarteeseen takana on yli 2,5 m jyrkänne, linja-autopysäkin odotustila, kevyen liikenteen väylä tai työkohte, jossa on lähes jatkuvasti ihmisiä alle 4 m etäisyydellä ajokaistasta.
- P8** Lievän vaaran tapaukset L3, L4, L5 ja L6, kun olosuhteet ovat hankalat: alamäen jälkeen talvella, kaarre talvella, hankalasti hahmotettava ajoreitti tai kohdassa jossa on jo ehtinyt ilmetä ongelmia.
- P9** Muut vastaavat.

Lievä vaara:

- L1** Vakavan vaaran tapaukset P1, P4 ja P5 työmaan alkukohdan jälkeen, kun liikenne on jo tottunut työmaanopeuksiin ja ajolinjojen muutoksiin tai kun ajolinjat ovat vakiintuneet.
- L2** Liikenne on sillalla vähintään 4 m päässä sillan kaiteettomasta reunasta ja ajolinjat ovat suorat ja vakiintuneet.
- L3** Liikenne on alle 4 m etäisyydellä työmaa-alueesta, jolla on usein ihmisiä.
- L5** Liikenne on alle 2 m etäisyydellä 1-2,5 m syvyydestä jyrkänneestä.
- L6** Liikenne on kaarteisella kiertotiellä vilkkaan kevyen liikenteen tien vieressä.
- L7** Muut vastaavat.

3 LÄNSIMETRON LIITYNTÄYHTEYDET – KT51

Vuosina 2014 – 2016 Länsiväylällä tehtiin parantamistoimenpiteitä Espoonlahden ja Matinkylän välillä. Tavoitteena oli parantaa Länsimetron liityntäliikenteen toimivuutta, kehittää joukkoliikenteen sujuvuutta ja helpottaa etenkin sekä aamuhuipputunnin, että iltahuipputunnin ruuhkia tällä yhdellä pääkaupunkiseudun vilkkaimmalla pääväylällä. Tavoitteeseen päästäisiin rakentamalla Espoonlahden ja Matinkylän välille yhtenäiset joukkoliikennekaistat molempiin ajosuuntiin parantamaan Länsiväylän joukkoliikenteen sujuvuutta. Lisäksi Länsiväylältä Markkinakadulle rakennetun joukkoliikennetervan ansiosta linja-autot pääsevät suoraan Matinkylän joukkoliikenneterminaaliin, kun Länsimetro aloittaa liikennöinnin. Liikenteen sujuvuutta parannettiin myös älyliikenteen osalta, rakentamalla kolme tiedotusopastinta jotka ilmoittavat muun muassa vapaista parkkipaikoista metron liityntäpysäkeille. Länsiväylän vuoden keskimääräinen

vuorokausiliikenne on noin 30 000 - 58 000 ajoneuvoa riippuen tieosuudesta. Raskaan liikenteen osuus on noin 5 % koko liikenteestä. (Liikennevirasto, 2016)

Länsimetron liityntäyhteydet -hanke on Espoon kaupungin ja Liikenneviraston yhteishanke. Sen kustannusarvio on 19,9 miljoonaa euroa, josta valtion osuus on noin 13 miljoonaa euroa ja Espoon kaupungin osuus 6,8 miljoonaa euroa. (Liikennevirasto, 2016)

Hanke on urakkamuodoltaan kokonaishintaurakka. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki työsuunnitelmat tulevat kokonaisuudessaan tilaajalta. Destia Oy osallistui tarjouslaskentakilpailuun kevään 2014 aikana ja voitti urakan saman vuoden kesäkuussa sekä alimman hintansa, että myös henkilöstön parhaimpien kokemuspisteiden johdosta. Projektipäällikkönä Liikenneviraston puolelta toimi Janne Wikström ja Destia Oy:n puolelta Seppo Tuovinen sekä Olli Sihvola.



Kuva 3. Liikenneviraston mainoskuva hankkeesta (Liikennevirasto, 2016).

3.1 Liikennejärjestelyt hankkeella

Urakkaohjelmassa määrätään, että hankkeella, koko hankkeen toteuttamisen ajan kaikki yleisen liikenteen liikennealueet on pidettävä liikennöitävässä ja turvallisesti ajettavassa kunnossa. Laadultaan niiden tulee olla siis sellaisia, ettei päällyste ole vaurioitunut, pinta on tasainen ja puhdistus on työmaan aikana jatkuvaa, eikä niitä saa ilman asianomaisen tienpitäjän lupaa sulkea. (Urakkaohjelma, 2014)

Yleisen liikenteen järjestelyissä noudatetaan Liikenne tietyömaalla julkaisusarjan ohjeita. Mikäli edellä olevissa asiakirjoissa on keskenään ristiriitaisia ohjeita, menee myöhemmin ilmestynyt julkaisu pätevyysjärjestyksessä aikaisemmin julkaistu edelle. Urakassa tulee jokaisella tieosuudella noudattaa sulku- ja varoituslaitteiden toimintaympäristöluokkaa S3. (Urakkaohjelma, 2014)

Tieliikenteen järjestelyistä urakkaohjelma määrää seuraavaa:

- Työmaan nopeusrajoituksena noudatetaan kantatiellä 51 ja rampeilla 60 km/h ja kaduilla sekä muilla yksityisteillä 40 km/h.
- Kantatiellä 51 on oltava vähintään kaksi kaistaa suuntaansa liikenteen käytössä. Ajoradan toisen kaistan tilapäinen sulkeminen on sallittu työskentelyn vaatimalta osuudelta vain ns. hiljaiseen aikaan, eli kello 10:00 – 14:00 ja yöttöissä 19:00 – 06:00 välisenä aikana.
- Liikenteen pysäyttäminen ja tarpeeton haittaaminen on kielletty kello 06:00 – 10:00 ja 14:00 – 19:00. Ajoradan molempien kaistojen samanaikaisen sulkemisen on sallittu vain hiljaiseen aikaan, tällöinkin enintään 8 minuutiksi.
- Minimi kaistanleveydet ovat 3,25 m + 2,75 m liikenteen ollessa kahdella kaistalla.
- Minimi alikulkukorkeus on vähintään 4,31 m. Tällöin kohteen alikulkukorkeusrajoitus (4,2 m) tulee osoittaa liikennemerkeillä selvästi ennen alikulkua. (Urakkaohjelma, 2014)

Urakkaohjelmassa määrätään myös, että urakoitsijan on tarkastettava liikennejärjestelyt päivittäin töiden alkaessa ja päättyessä. Työskentelyajan ulkopuolella tulee järjestää päivystys liikennemerkkien pysyvyyden ja liikennejärjestelyiden toimivuuden varmistamiseksi. Päivystäjällä tulee olla Tieturva 2-pätevyys. Vakavien puutteiden korjaaminen on aloitettava välittömästi, mutta muiden korjaustoimenpiteiden toimenpideaika on kuusi tuntia. (Urakkaohjelma, 2014)

Onnistunut liikenteenohjaussuunnitelma, ja sitä kautta toteutettava tiettyömaan väliaikainen liikennejärjestely oli hankkeen kannalta erittäin tärkeässä roolissa työmaan turvallisuuden ja tehokkuuden kanssa, mutta myös yhtä tärkeässä roolissa taloudellisesta näkökulmasta. Näin ison hankkeen liikenteenohjausjärjestelyt vaativat usein paljon resursseja niin henkilöstön kuin liikenteenohjausvälineiden osalta. Tällöin kustannukset voivat nousta hätäisen suunnittelun ja toteutuksen kanssa tarpeettoman suuriksi.

Jokainen liikenteenohjaussuunnitelma lasketaan kustannuskuluihin suunnittelusta sen toteutukseen ja purkamiseen asti. Alla olevan sabluunan (taulukko 2) mukaista jaottelua on tarpeen käyttää, kun halutaan seurata vertailtavissa olevia kustannuksia.

Taulukko 2. Hankkeella käytetty kustannuslaskentapohja.

Liikennejärjestelyt			
suunnittelu	1,0	h	75,00 €
törmäysauto	1,0	h	101,00 €
liikennemerkkit	1,0	erä	100,00 €
rakennusmies	1,0	h	37,00 €
pakettiauto	1,0	h	47,00 €
Hiab-auto	1,0	h	101,00 €
norsut	1,0	kpl/päivä	0,80 €

3.2 Liikenteenohjaussuunnitelmien toteutus hankkeella

Koko hankkeen ajan liikennejärjestelyvastaavana toimi Keijo Katravuori Destia Oy:stä. Kaikki tekemäni liikenteenohjaussuunnitelmat kulkivat hänen kauttaan ennen kuin lähdimme hyväksyttämään niitä Liikenneviraston kautta kohti lopullista toteutusta. Destialla on käytössään myös omia, hyväksytyjä tyyppikuvapohjia. Hankkeella suunniteltiin ja toteutettiin syksyyn 2016 mennessä yhteensä 83 erillistä liikenteenohjaussuunnitelmaa, joista useat sisälsivät vielä erillisen osakokonaisuuden tai vaiheen.

Työkohde, koko työalue ja näille suunniteltava liikenteenohjaus täytyy osittain toteuttaa yhdessä työmaainsinöörien sekä rakennusmiehien kanssa. Liikenteenohjaussuunnitelmia tehdessä on liikennesuunnittelijan otettava huomioon ehdottomat vaatimukset työskentelyalueen tarpeesta, työturvallisuudesta sekä rakennusaikataulu. Ensin on tiedettävä työkohde ja sitä kautta hahmotettava työn koko vaikutusalue, eli työalue. Kun työkohde on tiedossa, hain suunnitelman pohjakuvaksi kuvan suunnitelmapii- rustuksista.

Liikenteenohjaussuunnitelmien varsinaisen piirtämisen toteutin Adobe Acrobat Pro XI:llä, joka on PDF-asiakirjojen lukemiseen ja muokkaamiseen käytetty ohjelma. Adobe Acrobat Pro:n parhaimpia puolia ovat helppo- käyttöisyys, mittatyökalut, kommenttien jättäminen lukittuun tiedostoon sekä visuaalisesti havainnollistavien suunnitelmien piirtäminen. Nämä työkalut antavat hyvät edellytykset sille, että suunnitelman lopullinen hyväksyttäminen onnistuu vaivattomasti.

3.3 Hyväksyttäminen ja tiedottaminen

Hankkeen urakoitsijan tulee itse laatia ja hyväksyttää liikenteenohjaussuunnitelmat tilaajalle kaksi viikkoa ennen liikenteellisesti merkittävien työvaiheiden aloittamista. (Urakkaohjelma, 2014)

Tieliikennekeskuksella tulee olla koko ajan reaaliaikainen tieto mahdollisista liikenteen haitoista. Urakoitsijan tulee tiedottaa sovitulla tavalla tiellä työskentelystä Tiehallinnon liikennekeskukseen ja ilmoittaa aina oikea

tieto liikenteen järjestelyjen vastuuhenkilöistä. Tiedot muun muassa työn aloittamisen ja päättymisen ajankohdasta, työn laadusta, työn laajuudesta sekä etenemistä rajoittavista seikoista on annettava 7 vuorokautta ennen töiden alkua. Työn ilmoittamisen voi tehdä lomakkeella ”Ilmoitus tietyöstä tieliikennekeskukseen”. Urakoitsijan ilmoittamien tietojen perusteella tieliikennekeskus tiedottaa tietöistä Internetissä, Yleisradion tekstitelevisiossa ja medialle välitettävissä liikennetiedotteissa. (Urakkaohjelma, 2014)

4 LUISKASORTUMA RAMPILLA E1R2

Alueen suunnitelmakartta löytyy liitteistä ”Suunnitelmakartta M1 plv 2400 – 3300”. Suunnitelmakartasta löytyvät myös jatkossa käyttämäni nimitykset eri tieosuuksista sekä paalulukemat.

Destia rakensi meluestettä Me1 11.7.2014 solmitun urakkasopimuksen ja rakennussuunnitelman mukaisesti. Perjantaina 5.9.2014 klo 8:10 havaittiin äkillinen tien luiskan sortuma Kt51 Länsiväylän Espoonlahden liittymästä Helsingin suuntaan laskevan rampin E1R2 alapäässä. Destian työnjohto ilmoitti tapauksesta tilaajan edustajalle klo 8.15 ja sortumakohdan katselamus pidettiin heti samana päivänä klo 13:00.

Tapahtuneesta laadittiin poikkeamaraportti 8.9.2014, jossa ilmeni välittömät toimenpiteet liikenteenohjaussuunnitelmiseen, joilla on estetty lisävahinkojen syntyminen. Liikenneviraston 21.9.2016 toimittaman loppuraportin mukaan tapahtunut vahinko ei ollut Destian aiheuttama, vaan sortuman aiheutuminen on johtunut suunnitteluvirheestä. Pohjanvahvistussuunnitelmissa ja hankekohtaisessa työselostuksessa ei ollut mitään vaatimuksia tai rajoituksia työskentelystä kyseisellä alueella. Raportissa todetaan, että suunnitteluun liittyvä virhe tai puute on kuulunut tilaajan vastuulle, ja että Destia oli toiminut tilaajan laatiman suunnitelman mukaisesti, eikä näin ollen itse aiheuttanut tapahtunutta luiskan sortumaa. Raportin lisätietojen mukaan myös tilaajan ulkopuolisilla selvitysmiehillä teettämä selvitys sortuman syistä tukee tätä näkemystä. (Liikennevirasto, 2016)

4.1 Liikenteenohjaussuunnitelma LOS_2014_14A yleisesti

Varsinaisena simulointikohteena on 24.11.2014 suunniteltu liikenteenohjaussuunnitelma ”LOS_2014_14A”, jolla päivitettiin 8.9.2014 laadittu kevyempi suunnitelma välittömistä suojaustoimista rampin E1R2 kohdalla. Nämä välittömät suojaustoimet tuli toteuttaa heti vaaran, eli luiskasortuman aiheuttaman vakavan vaaran ilmettyä. Näistä vakavan ja lievän vaaran luokista kohdeliikenteenohjaussuunnitelmassa ilmenneet vakavat vaarat ovat P4, P7 sekä P8 ja sen sisältämä lievä vaara L3. Liikenteenohjaussuunnitelman LOS_2014_14A on suunnitellut hankkeen liikennejärjestelyvastaava Keijo Katravuori.

Hankkeella liikenteenohjaussuunnitelmien nimeäminen päätettiin tehdä juoksevilla numerointijärjestelmällä. Tämä toimintamalli on seurannan ja viestinnän, kuten sähköpostikeskustelujen kannalta kaikista yksinkertaisin tapa nimetä jatkuvalla tarpeella tarvittavia liikenteenohjaussuunnitelmia. Kyseinen liikenteenohjaussuunnitelma on siis koko hankkeen toteutuksen ajan neljästoista suunnitelma ja se on 1.12.2014 päivitetty revisioksi "A". Viimeisimmässä revisiossa on lisänä mittausmerkintöjä havainnollistamaan kaistojen leveydet.

Hyväksytty ja toteutettu liikenteenohjaussuunnitelma löytyy liitteistä "LOS_2014_14A". Kyseinen liikenteenohjaussuunnitelma on mittakaavaltaan 1:100 ja siinä on nuolimerkintä kartastokoordinaatistojärjestelmä 2:n (KKJ2 24°) nuolipohjoinen.

5 TIELIIKENTEN TOIMIVUUDEN ARVIOINTI

Jotta ylipäänsä voidaan verrata väliaikaisen liikenteenohjauksen toimivuutta liikenteen normaaliolosuhteisiin, täytyy ensin ymmärtää muutamia tieliikenteessä käytettyjä tunnuslukuja ja laskentamenetelmiä. Analyttisillä menetelmillä, niiden perusteella kehitetyillä laskentaohjelmilla sekä liikenteen simuloinnin avulla voidaan arvioida normaaliliikenteen sekä väliaikaisen liikennejärjestelyn läpi kulkevan liikenteen toimivuutta ja välityskykyä. Simulointiohjelmien parhaimpia puolia on niillä saadun tuloksien ja datan ulostuonti myös graafisessa muodossa tai kokonaan animaatioituna, jolloin datan lukeminen on osittain selkeämpää verrattaessa pelkän analyttisen datan tulkitsemiseen.

5.1 Analyttiset menetelmät ja ohjelmat

Tässä yhteydessä analyttisillä menetelmillä tarkoitetaan liikenteen toimivuuden arvioimiseen ja välityskyvyn laskemiseen käytettäviä kaavioita, taulukoita, laskentamalleja ja yhtälöitä. Analyttiset menetelmät perustuvat empiirisiin havaintoaineistoihin ja liikennevirtateoriaan, ja ne käsittelevät liikennettä tilastollisena ilmiönä. Analyttiset sekä simulaatiomaiset menetelmät tuottavat kaistakohtaisia, liittymäkohtaisia tai koko kaistaryhmäkohtaisia ja näiden toimivuutta kuvaavia tunnuslukuja, kuten esimerkiksi jononpituudet, pullonkaulat, viivytykset tai tien eri palvelutasoluokan määritteleviä tuloksia. Lisäksi liikenteen toimivuutta kuvaavien tunnuslukujen lisäksi liikenteen toimivuutta voidaan arvioida simulointimallin tuottaman animaation avulla. (Liikennevirasto, 2013)

Analyttisillä menetelmillä voidaan hyvinkin laskea yksittäisien liittymien ja ramppien jonopituuksia, viivytyksiä ja palvelutasoa. Analyttisillä menetelmillä ei kuitenkaan voida suoraan nähdä kuinka erilaisten muutostarpeiden tai toimenpiteiden toteuttaminen parantaisi liikennevirran kokonaistoimivuutta, tai aiheutuuko niistä uusia toimivuusongelmia muualla. Tämä rajaa analyttisten menetelmien käyttötarkoitusta, koska niillä ei voida

tutkia eri tarkastelupisteiden välisiä vuorovaikutuksia, vaan jokainen alue tulee tarkastella erikseen. (Liikennevirasto, 2013)

Yleisimmät käytössä olevat analyyttiset menetelmät ovat esimerkiksi HCM, HCS, Capcal, DanKap ja LIVASU. Tieliikenteen simulointiohjelmista yleisimmät ovat VISSIM, Paramics ja Synchro. Näiden ominaisuuksista hie-
man lisää kappaleessa 5.3.

HCM, eli Highway Capacity Manual on yhdysvaltalaisen Highway Research Board komitean kehittämä kaava- ja mallikokonaisuus, joka sisältää laskentamallit välityskyky- ja palvelutasomittauksiin. Ensimmäinen HCM julkaistiin jo vuonna 1950. HCM:n pohjalta on kehitetty erillinen laskentamenetelmä Highway Capacity Software, HCS. (Liikennevirasto, 2013)

Capcal on Ruotsin tielaitoksen kehittämä laskentamalli ja se on osa omaa tietokonesovellusta. Capcal-menetelmä soveltuu erityisesti liikennevalo-ohjaukseen ja valo-ohjaamattomien liittymien välityskykytarkasteluihin. Suomessa Capcalista on kehitetty vuosien mittaan suomalaisten havaintoaineistoihin ja suomalaisiin olosuhteisiin sovitettuja versioita. (Liikennevirasto, 2013)

DanKap on puolestaan Tanskan tielaitoksen kehittämä laskentamalli ja se on osana omaa tietokonesovellusta. DanKap on kehitetty puhtaasti HCM:n pohjalta kalibroimalla sitä tanskalaisiin olosuhteisiin soveltuvaksi. Ohjelmisto pystyy käsittelemään myös polkupyörät ja mopot. (Liikennevirasto, 2013)

Liikennevalojen suunnitteluohje, LIVASU on Suomen Tiehallinnon julkaissama ohje liikennevalojen suunnittelun. Ohje soveltuu liittymätyypin valintaan valo-ohjaamattoman sekä valo-ohjatun liittymän välillä. Ohjeen avulla voidaan laskea muun muassa liittymän kuormitusaste ja käyttösuhte. (Liikennevirasto, 2013)

5.2 Liikenteen välityskyky

Kuormitusaste ja sen suhde välityskykyyn ovat yksiä tärkeimpiä liikennejärjestelmän toimivuuden arvioinnista kertovia osatekijöitä. Väylän tai liikenneverkon välityskyvyn tunnuslukuna on usein ajoneuvojen määrä tunnissa. Kuormitusaste puolestaan kertoo tulosuuntien tai liittymän liikennemäärän suhteen välityskykyyn. Liikenneverkon kuormitusaste ei voi olla yli liikenneverkon maksimivälityskyvyn. Näiden ja analyyttisten menetelmien sekä simulointiohjelmien lisäksi myös liikenne-ennusteet sekä näiden epävarmuustekijät, tien palvelutaso ja viivytys ovat myös tieliikenteen toimivuuden arvioinnista kertovia tunnuslukuja.

Palvelutaso -käsite on Suomessa käytössä siinä merkityksessä, kuinka se on käsitelty amerikkalaisessa HCM200-käsikirjassa (Highway Capacity Manual 2000). Siinä palvelutaso -käsite kuvataan seuraavasti:

”Palvelutaso on laadun mittari, joka kuvaa liikennevirran toiminnallisia olosuhteita sellaisten tekijöiden kuten nopeuden, matka-ajan, toimintojen suorittamisen vapauden, liikenteen häiriöiden, mukavuuden ja miellyttävyyden avulla.” (Tiehallinto, 2007)

Aika on keskeinen käsite tarkasteltaessa liikkumista ja liikennettä liikkujan näkökulmasta. Viivytystä voidaan käyttää matka-ajan muutosvertailuissa, eli vertailussa muun muassa liikenteen normaaliolosuhteen ja työnaikaisen liikenteenohjauksen eroa sujuvuuden tunnuslukuna. Viivytys (s) voi olla myös mittarina, kun halutaan verrata kunnostetun tai kokonaan uuden liikenneväylän eroa vanhaan. Viivytyksen aiheuttajina voi olla huonokuntoinen tie, liikennevälityskyvyltään huonosti suunniteltu tieosuus, rakennustyömaan aiheuttama pullonkaula tai vaikkapa huono sää ja ajokeli.

5.3 Simulointiohjelmat

Markkinat tarjoavat lukuisia ja usein täysin eri tarkoituksiin sekä tarkkuustason tarkasteluihin suunniteltuja simulointiohjelmia. Suomessa yleisimmin käytössä olevat simulointiohjelmat ovat Vissim, Paramics sekä Synchro. Paramics soveltuu kilpailijoihinsa nähden verrattuna paremmin suurten liikenneverkkojen tarkasteluihin, joskin yksittäinen liittymäalue mallinnetaan hieman epätarkemmin kuin Vissimissä, mutta tarkemmin kuin Synchrossa. Alla olevassa taulukossa (taulukko 3) on esitetty Suomessa yleisimmin käytössä olevien simulointiohjelmien keskeisiä ominaisuuksia, ohjelmille parhaimmin ja huonoimmin soveltuvia käyttökohteita. (Liikennevirasto, 2013)

Taulukko 3. Simulointiohjelmien keskeisiä ominaisuuksia.
(Liikennevirasto, 2013)

Ohjelman nimi	Paramics	Synchro	VISSIM
Ohjelman kehittäjä	Quadstone	Trafficware	PTV Group
Ohjelman kotimaa	Skotlanti/Iso-Britannia	Yhdysvallat	Saksa
Pääasialliset käyttökohteet	Ajoneuvosimulointi (kaupunkiympäristö ja maantiet)	Liikennevalosuunnittelu	Ajoneuvosimulointi (kaupunkiympäristö ja maantiet)
Muut käyttökohteet	Kevyt liikenne, joukkoliikenne	Valo-ohjaamattomat liittymät	Kevyt liikenne, joukkoliikenne
Vahvuudet	Dynaaminen reitti-valinta, tulosten analysointi	Valojen optimointi, vihreät aallot	Matkaketjut, kaupunkiympäristö, animaatio
Heikkoudet	Animaation epätarkkuudet	Kiertoliittymätarkastelut	Graafinen tulostus
Kohdemallin koko	Pienet ja suuret mallit, erityisesti suuret alueet ja maantieympäristö	Pienet mallit	Pienet ja suuret mallit, erityisesti kaupunkiympäristö

6 TIELIIKENTEEEN SIMULOINTIOHJELMA PTV VISSIM

PTV Vissim on saksalaisen Planung Transport Verkehr AG:n kehittänyt mikrosimulointiohjelma. Simulointiohjelman nimilyhenne ”Vissim” tulee Saksan kielen sanoista verkehr in städten – simulationsmodell ja tarkoittaa simulointimallia kaupunkiliikenteessä. Yrityksen perustivat Hans Hubschneider ja Michael Sahling vuonna 1997 Karlsruhen yliopistossa. Tällöin tuo vastaperustettu rajavastuuyhtiö kantoi vielä nimeä Planungsbüro Transport und Verkehr GmbH. PTV työllistää noin 700 henkilöä maailmanlaajuisesti ja PTV:n simulointiohjelmia käyttää aktiivisesti yli 2 500 asiakasta, mukaan lukien Hämeen Ammattikorkeakoulu. PTV Group tarjoaa laajan valikoiman eri simulointiohjelmia, joille jokaiselle on oma erikoiskäyttötarkoituksensa. (PTV Group, 2017)

Tässä opinnäytetyössäni käytän PTV Vissimin 64-bittistä versiota, jonka ohjelmistoversio on 9.00-04. Se on opinnäytetyöni kirjoitushetkellä, eli keväällä 2017 toiseksi uusin tarjolla olevista versioista.

6.1 Mikrosimulointi ja erityiskohteiden simulointi

Mikrotason simuloinnissa jokainen yksikkö esitetään omana tietueenaan. Tämä tarkoittaa, että jokainen henkilöauto, linja-auto, kuorma-auto, pyöräilijä ja jalankulkija on mallinnettu erikseen omilla käyttäytymismalleillaan ja päämäärillään; jokainen yksilö omaa kyvyn olla vuorovaikutuksessa toisiin yksilöihin. Tietokonemallinnettu mikrosimulaatio näyttää oikean maailman vuorovaikutukset monimutkaisten algoritmien kautta sisältäen kaistan vaihdot, turvavälit, reagointiajat ja yksilötason virheet. Kaikkia näitä parametriarvoja voidaan muuttaa ohjelman sisällä, muokaten kuljetajakäyttäytymisen mahdollisimman monipuoliseksi ja aina tapauskohtaisesti.

PTV Vissimillä voi perusliikennevirran lisäksi tarkastella hyvin myös erityiskohteita kuten työmaajärjestelyjä tai vaihtoehtoisia kulkutapoja, kuten joukkoliikennettä, pyöräilijöitä ja jalankulkijoita. Myös erilaisten liikenteen ohjaus- ja telematiikkasovellusten ja joukkoliikenne-etuuksien tarkastelu on mahdollista, joskin jotkin näistä saattavat edellyttää erillistä lisenssiä tai käyttäjäohjelmaa. Jalankulkijoita ja pyöräilijöitä voidaan simuloida sekä liikenteestä kokonaan erotettuna, että vuorovaikutuksissa täysin muun liikenteen kanssa. (Liikennevirasto, 2013)

6.2 Vissimin parametriarvot

Vissimin mikroskooppinen liikenteen simulointiohjelmisto antaa mahdollisuuden lähes kaikkien mallin elementtien ominaisarvojen säätämisen useiden parametrien avulla. Yleisesti voidaan sanoa, että lähes kaikkea on mahdollista muokata malleissa ja jokaisella parametrin muokkauksella on

ainakin vähäinen vaikutus mallin toimintaan ja sitä kautta saataviin simuloitituloksiin. Muutettavia parametriarvoja Vissimissä ovat ajoneuvoparametrit, ajokäyttäytymisen parametrit, kaistanvaihtomallin parametrit, alennetun nopeustason alueet sekä **Seed Value** eli siemenluku. Luvun muutos tekee jokaisesta simuloinnista erilaisen. Tämän avulla voidaan mallintaa esimerkiksi jokaisen päivän ainutlaatuisuus tai vertailla eri ruuhkahupputuntien vaikutuksia. Oletusarvo siemenluvulle on 6. (Liikennevirasto, 2012)

6.2.1 Ajoneuvoparametrit

Vehicle Type eli ajoneuvotyyppi. Erilaisia ajoneuvotyyppejä ovat henkilö-auto (Car), kuorma-auto (HGV), linja-auto (Bus) ja raitiovaunu (Tram). Lisäksi myös jalankulkijoiden (Pedestrian) sekä pyöräilijöiden (Bike) parametriarvot ovat muutettavissa. Vissimin kaikille edellä mainituille eri ajoneuvotyypeille voidaan määrittää omat parametriarvot: (Liikennevirasto, 2012)

- **Length** eli ajoneuvon pituus (m).
- **Desired Speed** eli tavoitenopeus. Nopeusjakauma kullekin ajoneuvotyyppille eri nopeusrajoituksilla.
- **Maximum Acceleration** eli ajoneuvojen maksimikihtiävyys (m/s^2). Maksimi/minimi/keskiarvo– jakauma nopeuden funktiona.
- **Desired Acceleration** eli ajoneuvojen normaalikihtiävyys (m/s^2). Maksimi/minimi/keskiarvo– jakauma nopeuden funktiona.
- **Maximum Deceleration** eli ajoneuvojen maksimihidastuvuus (m/s^2). Maksimi/minimi/keskiarvo– jakauma nopeuden funktiona.
- **Normal Deceleration** eli ajoneuvojen normaalihidastuvuus (m/s^2). Maksimi/minimi/keskiarvo– jakauma nopeuden funktiona. (Liikennevirasto, 2012)

6.2.2 Ajokäyttäytymisen parametrit

Oletuksena ajokäyttäytymisen parametrit ovat määritelty erikseen liikenneverkon eri osuuksille. Ajokäyttäytymisen mallit liittyvät vahvasti ajoneuvoseurantaan (Following) ja sille on tehty kaksi oletusmallia. Kaupunkiliikenneverkolla (Urban) käytetään Wiedemann 74 -mallia ja Wiedemann 99 -malli soveltuu moottoriteille (Freeway). Koska tässä työssä liikenteenohjaussuunnitelma "LOS_2014_14A" on moottoriväylä, keskitymme enemmän Wiedemann 99 -mallin oleellisimpiin parametriarvoihin: (Liikennevirasto, 2012)

- **CC0, Average Standstill Distance** eli keskimääräinen pysähtymisetäisyys. Oletusarvo tälle on 2 m.

- CC1, **Headway Time** eli seuranta-aikaväli on seuranta-aikavälin minimiarvo. Mitä pienempi arvo on, sitä lähempänä toisiaan kuljettajat pyrkivät ajamaan. Tämä vaikuttaa liikenneverkon välityskykyyn ja kaistanvaihtoihin.
- CC3, **Threshold for Entering 'Following'** eli kynnysarvo ajoneuvoseuran-
nan alkamiselle. Tämä määrittää kuinka kauan ennen seurantaetäisyyttä
ajoneuvo alkaa hidastaa vauhtiaan.
- CC5, **Positive 'Following' Threshold** määrittävät herkkyyden, jolla kuljet-
taja reagoi seuraamansa ajoneuvon nopeuden muutoksiin. Mitä pienempi
arvo, sitä herkemmin kuljettaja reagoi.
- CC6, **Speed Dependency of Oscillation** eli etäisyyden vaikutus nopeuden
muutokseen ajoneuvoseurannassa. Tämä arvo määrittää kuinka paljon
ajoneuvoseurannassa ajoneuvojen välisellä etäisyydellä on merkitystä no-
peuden muutokseen. Mitä suurempi arvo, sitä enemmän nopeus vaihtelee
seurantaetäisyyden kasvaessa.
- CC7, **Oscillation Acceleration** eli kiihtyvyys nopeudenvaihtelussa. Tämä
arvo määrittää kuinka nopeasti kuljettaja kiihdyttää ajoneuvoseurannassa.
- CC8, **Standstill Acceleration** eli kiihtyvyys paikaltaan lähdettäessä. Tämä
arvo määrittää kuinka nopeasti kuljettaja kiihdyttää paikaltaan lähtiessä.
- **Look Ahead Distance; Min, Max** eli näkyvyysetäisyys, jonka kuljettaja nä-
kee eteenpäin voidakseen reagoida muihin ajoneuvoihin. Tähän arvoon
liittyy vahvasti myös **Observed Vehicles** -parametri, joka puolestaan mää-
rittää kuljettajan reagointiin vaikuttavien ajoneuvojen määrän.
- **Look Back Distance; Min, Max.** eli näkyvyysetäisyys, jonka kuljettaja nä-
kee taaksepäin voidakseen reagoida muihin ajoneuvoihin.
- **Temporary Lack of Attention; Duration & Probability** on väliaikainen
tauko huomionhäiriössä ja sen kesto sekä todennäköisyys.
(Liikennevirasto, 2012)

Lisäksi Wiedemann 74-mallin parametri **Average Standstill Distance** eli keskimääräinen pysähtymisetäisyys tai pysähtyneiden ajoneuvojen väli-
nen keskimääräinen etäisyys. Variaatio +/- 1 m ja oletusarvona 2 m.
(Liikennevirasto, 2012)

6.2.3 Kaistanvaihtomallin parametrit

Kaistanvaihto on kahdenlaisia: pakollisia ja vapaaehtoisia. Vapaaehtoi-
nen kaistanvaihto perustuu haluun ajaa nopeammin tai vapaammassa ti-
lassa. Vapaan kaistavaihdon tapauksessa Vissim tarkastelee viereisellä
kaistalla, takaviistossa ajavan ajoneuvon tavoitteellista seurantaetäisyyttä.
Käyttäjällä ei suoranaisesti ole mahdollisuutta määrittää kyseisten kaistan-
vaihtojen aggressiivisuutta, vaan ajokäyttäytymiseen liittyvällä paramet-
rilla **Headway Time** on vaikutusta vapaaehtoisille kaistanvaihdolle.
(Liikennevirasto, 2012)

Pakollisen kaistanvaihdon kanssa Vissim sisältää parametriarvon ajokäyt-
täytymiseen. **Accepted Deceleration** eli kelpuutettu hidastuvuus sekä kais-
tanvaihdon suorittavalle ajoneuvolle, että sitä takaviistossa viereisellä

kaistalla ajavalle ajoneuvolle. Kelpuutettu hidastuvuus riippuu etäisyydestä seuraavan liitoskohdan, **Emergency Stop Position** eli pakolliseen kaistanvaihtokohtaan. Pakollisen kaistanvaihdon aggressiivisuus voidaan määrittää parametrien avulla. **Maximum Deceleration** ja **Accepted Deceleration** eli maksimi- ja kelpuutettu hidastuvuus voidaan räätälöidä, kun **Own**, eli kaistanvaihtaja-ajoneuvo joutuu vaihtamaan kaistaa **Trailing Vehicle** eli ajoneuvon, jonka eteen kaistaa vaihdetaan. Näiden lisäksi pakollisen ohitustilanteen molemmille ajoneuvoille määritetään etäisyys, jota kohden vauhti maksimihidastuvuudesta vähenee 1 m/s^2 asteittain etäisyyden kasvaessa, eli **-1 m/s² per Distance**. (Liikennevirasto, 2012)

Muita parametriarvoja pakolliselle kaistanvaihdolle ovat:

- **Min. Headway (Front/Rear)** eli minimietäisyys eteen- ja taaksepäin, jonka pysähtynyt ajoneuvo vähintään tarvitsee vaihtaessaan kaistaa edellä ajavan ajoneuvon perään. Oletusarvo kummallekin on 1.5.
- **Safety Distance Reduction Factor** eli turvaetäisyyden vähennyskerroin. Kerroin sisältyy samaan kaavaan, jolla lasketaan kaistanvaihdon normaalia pienempi turvaetäisyys. Kaistanvaihdon tapahduttua palautuu normaalin turvaetäisyyden arvo. (Liikennevirasto, 2012)

6.2.4 Alennetun nopeustason alueet

Ajoneuvoille voidaan määrittää haluttu nopeustaso ja -jakauma alueittain esimerkiksi kaarteisiin ja liittymäalueille. Nämä alueet ovat **Reduced Speed Areas** eli alennetun nopeustason alueet. Tätä parametriarvoa voi hienosäätää erikseen kaikille eri ajoneuvotyypeille. Oletusarvona on linkille asetettu nopeusrajoitus. (Liikennevirasto, 2012)

7 AJOKÄYTTÄYTYMISEN ERI VAIKUTUSTEKIJÄT

Ajoneuvon kuljettajan ajokäyttäytymiseen vaikuttaa lukuisat eri tekijät, kuten vallitsevat keliolosuhteet, ajettava tie tai tieosuus ja sen kunto sekä tien pysty- ja vaakageometria, ajettava ajoneuvo sekä tietenkin kuljettajan oma fyysinen ja henkinen olotila. Tavoitenopeuteen vaikuttavat voimakkaasti kuljettajan motivaatiotekijät ja tunnetekijät. Nämä ovat kuljettajan niin sanottuja ylimääräisiä motiiveja, joita sekä syntyy liikennetilanteissa sekä joita tuodaan liikenteeseen liikenteen ulkopuolelta. Esitän muutaman kriittisen ajokäyttäytymiseen vaikuttavan päätekijän, joiden perusteella voin käyttää tiettyjä Vissimin parametrien arvojen muutoksia simuloimassani rampin E1R2 luiskasortumakorjauksessa toteutettua liikenteenohjaussuunnitelmaa LOS_2014_14A.

7.1 Tiegeometrian vaikutus ajokäyttäytymiseen

Ajoneuvoa ohjaava kuljettaja sovittaa toimintansa hyvin pitkälti pelkäänsä tien geometrian mukaan. Leveä ja hyväkuntoinen tie houkuttelee ajamaan kovaa, kun taas mäkinen, kaarteinen tai muutoin huonokuntoinen tie vähentävät ohitusmahdollisuuksia ja alentavan ajonopeuksia. Nopeuden aistimisen perustana on suhteellisen liikkeen aistiminen. Kuljettajan käsitys omasta ajonopeudesta perustuu nimenomaan ajoneuvon liikkeen suhteessa ympäristöön. Myös tien läheisyydessä olevat kiinteät objektit tai muut tiellä liikkujat, kuten tietyömaan työkoneiden tai työntekijöiden läsnäolo vaikuttavat kuljettajan toimintaan. Muutoin kuljettajan käyttäytymistä pyritään ohjaamaan liikennesäännöillä. (Tiehallinto, 2009)

7.1.1 Kaarresäteen vaikutus ajonopeuden valintaan

Italialainen Paolo Perco teki vuonna 2007 tutkimusta tielinjan yleisilmeen vaikutuksista ajonopeuksiin 2-ajorataisilla maanteillä. Tutkimuksen perusteella Perco määritteli nopeusennustemallit kaarteisuudeltaan erilaisille tieosuuksille. Tielinjan homogeenisuuden tunnistamisen avuksi hän käytti kaarteisuutta (CCR). Suomessa tien kaarteisuutta on käytetty kuvaamaan tieosuuden laatua, eikä niinkään osoittamaan yksittäisen tien yleisilmeestä poikkeavaa kohdetta. CCR määritellään jakamalla tielinjan geometrisen elementtien kulmamutosten itseisarvojen summa tieosuuden kokonaispituudella (kaava 1). (Tiehallinto, 2009)

$$CCR = \frac{\sum_{i=1}^n |\gamma_i|}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (1)$$

missä

CCR = kaarteisuus (gon/km)

$|\gamma_i|$ = geometrisen elementin i itseisarvon kulmanmuutos (gon)

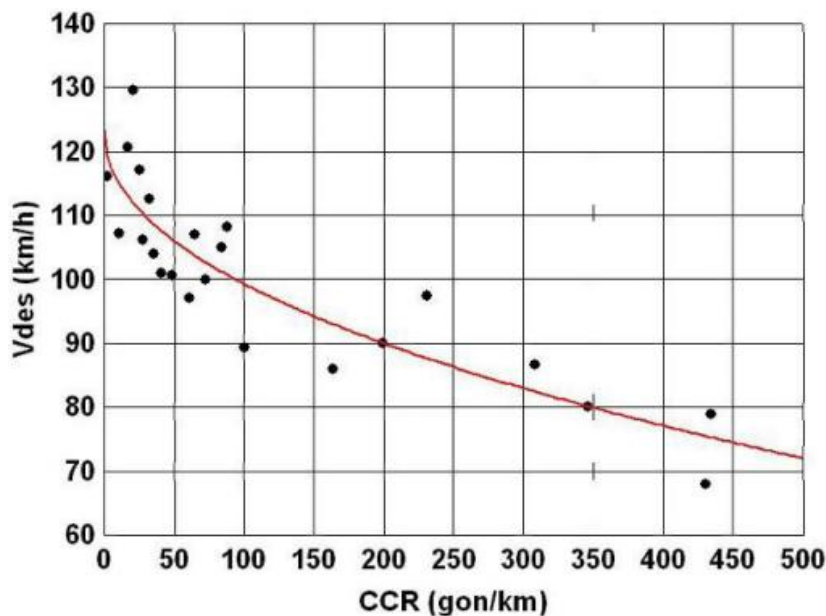
L_i = geometrisen elementin i pituus (km)

n = geometrisen elementin lukumäärä tieosuudella (suorat, kaarteet ja siirtymäkaaret).

Tutkimuksessa määritettiin myös kaava tavoitenopeudelle (V_{des}) eli nopeustasolle, jota kuljettaja pyrkii ajamaan. Kaarteisuus on otettu huomioon tavoitenopeuden kaavassa, ja siihen vaikuttavat myös tien, ajoneuvon ja kuljettajan ominaisuudet sekä liikennetilanne (kaava 2). (Tiehallinto, 2009)

$$V_{des} = 123,54 - 2,79 \times CCR^{0,47}, (R^2 = 0,77) \quad (2)$$

Tavoitenopeuden voidaan ajatella olevan 85-prosentin nopeus suoralla tieosuudella tai erittäin suurisäteisissä kaarteissa. V_{85} -nopeus on nopeustaso, jonka 85 % autoliikenteestä alittaa ja 15 % ylittää. Tavoitenopeuteen vaikuttavat olennaisesti tien nopeusrajoitus ja tien suuntaus ja tasaus. Alla olevassa kuvassa (kuva 4) on esitetty tavoitenopeuden ja tieosan kaarteisuuden välinen riippuvaisuus. (Tiehallinto, 2009)



Kuva 4. Tavoitenopeuden ja kaarteisuuden välinen riippuvuus (Tiehallinto, 2009).

Percon tutkimuksessa selvisi, että suurin korrelaatio 85-prosentin nopeuden kanssa oli kaarresäteen neliöjuuren käänteisluvulla $1/R^{0,5}$. Yksittäisen kaarrekohdan nopeusmalli, joka parhaiten kuvasi kaikkia tutkimusalueen tieosuuksia, oli seuraava (kaava 3): (Tiehallinto, 2009)

$$V_{85} = 121,78 - \frac{544,78}{\sqrt{R}}, (R^2 = 0,79) \quad (3)$$

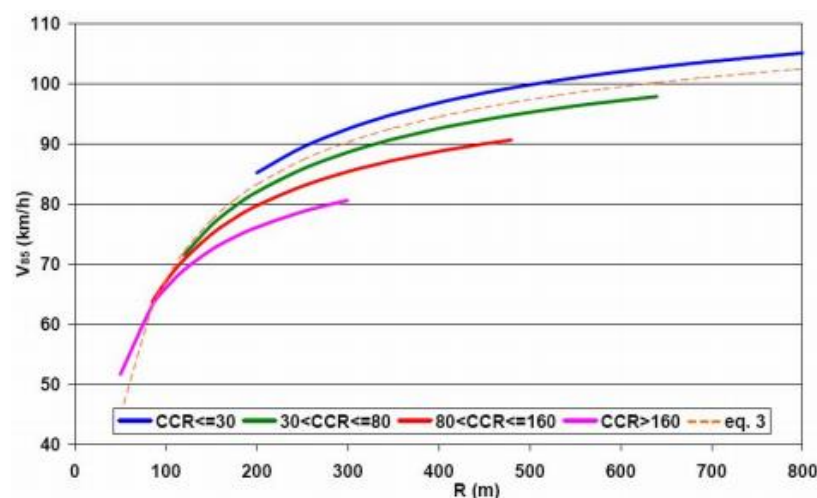
Mallin keskineliövirhe on 8,30

Tämän yhtälömallin pohjalta Perco määrittä neljä erilaista nopeusennustemallia riippuen tien kaarteisuudesta. Taulukossa 4 on esitetty neljä nopeusennustemallia neljälle eri kaarteisuusluokalle.

Taulukko 4. Nopeusennustemallit eri kaarteisuusluokille. (Tiehallinto, 2009)

	CCR	Tavoite- nopeus (kaava 2)	Kaarre- säde	Ennustemalli	Seli- tysaste R^2	Keski- neliö- virhe	Keskineliö- virhe (kaava 3)
	1	2	3	5	6	7	8
	gon/km	km/h	m	km/h	-	km/h	km/h
1	< 30	> 110	200 - 2500	$V_{85} = 124,08 - \frac{563,78}{\sqrt{R}}$	0,4	10,06	11,45
2	30 - 80	110 - 100	100 - 635	$V_{85} = 118,11 - \frac{510,56}{\sqrt{R}}$	0,58	6,23	6,43
3	80 - 160	100 - 90	77 - 480	$V_{85} = 111,65 - \frac{437,44}{\sqrt{R}}$	0,8	4,3	5,55
4	> 160	< 90	36 - 300	$V_{85} = 100,85 - \frac{346,62}{\sqrt{R}}$	0,89	3,09	6,18

Coefficient of determination, eli ennustemallin selitysaste suurenee, kun kaarteisuus CCR kasvaa. Tämä johtuu siitä, että ajoneuvon kuljettajan nopeuden valinta on paljon rajoitetumpaa tieosuuksilla, joilla on lyhyitä suoria ja jyrkkiä kaarteita. Vastaavasti tieosuuksilla, joissa on pitkiä suoria ja loivempia kaarteita, on nopeus vapaammin ajoneuvon kuljettajan itse valittavissa. Tavoitenopeutta ennustettaessa, yhden kaavan riittämättömyyden todistaa se, että kaavalla 3 laskettaessa keskineliövirhe on suurempi kuin taulukon 4 kaavoilla. Kuvassa 5 on taulukon 4 yhtälöistä sekä kaavasta 3 (eq. 3) piirretyt kuvaajat. Jokainen kuvaaja kuvaa yhtä kaarteisuuden CCR vaihteluväliä. (Tiehallinto, 2009)



Kuva 5. V_{85} -nopeuden ja kaarresäteen välinen yhteys eri kaarteisuusluokissa (Tiehallinto, 2009).

Kuvasta 5 nähdään, että tien kaarteisuudella on selkeä vaikutus tavoiteajonopeuden valintaan ja että pelkästään yhdellä vakioarvolla on mahdotonta määrittää kaarteisuusnopeuksia jostain isommasta tiekokonaisuudesta, joka sisältäisi sekä isosäteisiä, että pienisäteisiä kaarteita. Taulukon 4 ennustemallien avulla pystyn myöhemmin simulointivaiheessa käyttämään oikean kaarteisuusluokan V_{85} -nopeustason ennustenopeutta tutkiessani liikenteenohjaussuunnitelman "LOS_2014_14A" ajoaikaviivytyseroja sekä välityskykyeroja verraten kyseisen kohdan normaaliliikennetilanteeseen.

8 LIIKENTEENOHJAUSSUUNNITELMAN "LOS_2014_14A" TOIMIVUUSTARKASTELUVERKON RAKENTAMINEN

Opinnäytetyöni käytännön vaiheessa simuloin, liikennemäärältään mitatuna, yhden hankkeen haastavimman liikenteenohjaussuunnitelman käyttäen apuna saksalaista mikrosimulointiohjelmaa PTV Vissimiä. Kohteen simulointi suoritettiin Vissimin ohjelmaversiolla 9.00-04. Se on opinnäytetyöni kirjoitushetkellä, eli keväällä 2017 toiseksi uusimman tarjolla olevista versioista. Ohjelmassa malli aloitetaan rakentamalla "LOS_2014_14A" mukainen liikenneverkko mahdollisimman tarkasti käyttäen apuna liikenteenohjaussuunnitelman karttakuvaa sekä hankkeen suunnitelmakarttoja. Samalla määritetään jokaiselle tieosuudelle omat ajonopeudet, ajoneuvomäärät, kaistaleveydet, etuajo-oikeudet sekä mahdolliset Priority Rulesit, jotka täydentäisivät etuajo-oikeuksia. Tämän jälkeen voidaan muuttaa vielä ohjelman oletusparametreja, joilla täydennetään sitä oikean elämän tilannetta, jollaisena se tienkäyttäjille rakennustyönaikana oli. Arvojen muutokset kuitenkin kannattaa tehdä varoen, sillä pienilläkin muutoksilla saatetaan saada suuria eroja toimivuustarkastelua arvioidessa.

8.1 Verkon rakentaminen

Verkon rakentaminen on varsin nopea prosessi Vissimin käyttöjärjestelmän ollessa hyvin helppokäyttöinen, selkeä ja käyttäjäystävällinen. Tarkastelualueen mallintamisessa lähdetään liikkeelle liikenteenohjaussuunnitelman liittämällä pohjakartta-aineistoon ja sen skaalaamisella, jonka jälkeen rakennetaan tarvittavat linkit yksi kerrallaan ja liitetään ne yhdistimillä eli connectoreilla. Mallin kokonaisuusteettisyyden vuoksi rakensin myös Länsiväylän lännen suuntaisen kaistan, vaikka tältä tieosuudelta ei kerätä mitään dataa. Kokonaisuudessaan verkko käsittää yhdeksän linkkiä ja seitsemän connectoria. Helsingin suuntainen Länsiväylän osuus ja sen rampit E1R2 sekä E1R6 koostuvat yhteensä viidestä linkistä ja neljästä connectorista. Alla olevassa taulukossa (kuva 6) on myös Kirkkonummen, eli lännen suuntaisen Länsiväylän linkit ja rampit E1R5.

No	Name	LinkBehavType	NumLanes	Length2D
1	Länsiväylä_Itään_ennenkierotietä	3: Freeway (free lane selection)	2	305,675
2	Länsiväylä_Itään_kierotie+jälkeen3-kaistaa	3: Freeway (free lane selection)	3	140,060
3	E1R6	1: Urban (motorized)	1	122,381
4	E1R2	1: Urban (motorized)	1	225,938
5	Länsiväylä_Itään_jälkeenkiertotien	3: Freeway (free lane selection)	3	261,726
6	Länsiväylä_Länteen_ennenkierotietä	3: Freeway (free lane selection)	2	278,328
7	Länsiväylä_Länteen_kierotie	3: Freeway (free lane selection)	2	150,526
8	Länsiväylä_Länteen_jälkeenkiertotien	3: Freeway (free lane selection)	2	355,085
9	E1R5	1: Urban (motorized)	1	115,840
10000	Länsiväylä 2-kaistaa --> 3-kaistaa	3: Freeway (free lane selection)	2	113,736
10001	E1R6 --> E1R2	1: Urban (motorized)	1	15,279
10002	E1R1 --> Länsiväylä	3: Freeway (free lane selection)	1	10,466
10003	Länsiväylä_kierotie --> Länsiväylä_jälkeenkiertotie	3: Freeway (free lane selection)	3	21,574
10004	Länsiväylä_Länteen_kierotie --> jälkeenkiertotien	3: Freeway (free lane selection)	2	31,391
10005	Länsiväylä_Länteen_ennenkierotietä --> kierotie	3: Freeway (free lane selection)	2	30,406
10006	Länsiväylä_Länteen --> E1R5	1: Urban (motorized)	1	176,863

Kuva 6. Kuvakaappaus verkon linkeistä. Helsingin suuntaisen verkon lin-
kit ja connectorit ovat keltaisella, ja vain näiltä tieosuuksilta teh-
dään toimivuustarkastelua.

Vissimissä verkolle syötettävien eri ajoneuvotyyppien monimuotoisuutta kutsutaan ajoneuvokoostumukseksi (Vehicle Composition). Tämän verkon ajoneuvokoostumus rakentuu henkilöautoista (100: Car), kuorma-autoista (200: HGV, Heavy Goods Vehicle) sekä linja-autoista (300: Bus). Rakenta-
mani ajoneuvokoostumuksen Relative Flow, eli virtaussuhde Länsiväylän osalta on 0,95 (Car), 0,04 (HGV) ja 0,01 (Bus). E1R2 rampilla ajoneuvokoos-
tumuksen virtaussuhde on 0,95 (Car) ja raskaan liikenteen kahden eri ajo-
neuvotyyppin osalta Länsiväylän suhteen käänteinen, eli 0,01 (HGV) ja 0,04 (Bus). Näillä arvoilla raskaan liikenteen osuus koko liikennemäärästä Län-
siväylällä on 5 %.

Count: 3	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	60: 60 km/h	0,950
2	200: HGV	60: 60 km/h	0,040
3	300: Bus	60: 60 km/h	0,010

Kuva 7. Kuvakaappaus Länsiväylälle syötettävän ajoneuvorakenteen vir-
taussuhteesta. Rampin E1R2 Relative Flow on kuorma-autojen ja
linja-autojen osalta käänteinen.

Ajoneuvokoostumusten sekä näiden virtaussuhteiden muokkaamisen jäl-
keen lisätään verkolle syötettävä liikennemäärä sekä ajoneuvosyötepis-
teet. Kt-51 tiellä sijaitsevan LAM-pisteen liikennemäärätietojen mukaan
keskimääräinen vuorokausiliikenne kohteen tieosuuden yhden aamuhui-
putunnin aikana Länsiväylän osuudelta on 1750 ajoneuvoa tunnissa ja ram-
pin E1R2 osuudelta 750 ajoneuvoa tunnissa. Tämä yhden aamuhui-
putun-
nin yhteensä 2500 ajoneuvon määrä on 7,5 % koko päivän keskimääräi-
sestä vuorokausiliikennemäärästä. (Liikennevirasto, 2016)

Coun	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1		1: Länsiväylä_Itään_ennenkierrotietä	1750,0	1: Default
2	2		4: E1R2	750,0	3: E1R2
3	3		3: E1R6	25,0	2: E1R6
4	4		6: Länsiväylä_Länteen_ennenkierrotiet	2000,0	1: Default

Kuva 8. Yhden tunnin aikana verkolle syötettävät ajoneuvomäärät

Näiden arvojen jälkeen mallin verkko on sen perusominaisuuksiltaan valmis simulointiin, mutta mittauspisteiden puuttumisen sekä oletusparametriarvojen vuoksi datan kerääminen ja kohdekohtaisen toimivuustarkastelun tekeminen ovat mahdotonta. Alla olevassa kuvakaappauksessa on valmiiksi rakennettu verkkomalli liikenteenohjaussuunnitelmasta LOS_2014_14A.



Kuva 9. Kuvakaappaus valmiista mallista, jossa pyörii simulointiprosessi.

8.2 Viivytyksen aiheuttajat

Vissimissä ajoneuvojen matka-aikaa kahden tietyn pisteen välillä voidaan mitata Vehicle Travel Time Measurements -työkalulla. Tämä työkalu on ehdoton, kun toimivuustarkastelussa halutaan tutkia ajoaikaviivytseroja kahden eri mallin välillä. Alla olevassa kuvakaappauksessa on mallin kaksi eri matka-ajan mittauspistettä. Ensimmäinen mittauspiste (No1) alkaa rampin E1R2 paalulta 0 ja päättyy paalulle 400. Toinen mittauspiste (No2) alkaa Länsiväylän paalulta 2600 ja päättyy paalulle 3200. Kuvakaappauksesta (kuva 10) voidaan havaita, että ensimmäisen mittauspisteen todellinen pituus on 409,58 metriä ja toisen mittauspisteen todellinen pituus on 601,57 metriä. Luiskasortuman ohittava kiertotie tuo rampia E1R2 ajavalle 9,58 metrin pituisen kierron ja Länsiväylällä vastaava kiertotie tuo 1,57 metriä lisää ajomatkaa.

No	Name	StartPos	EndPos	Dist
1	E1R2 --> 0 - 400	34,702	48,076	409,58
2	Länsiväylä --> 2600 - 3200	77,205	98,050	601,57

Kuva 10. Kuvakaappaus verkon matka-ajan mittauspisteistä. Länsiväylän paaluväli 2600-3200 on kiertotien tuoman kaarteiden takia todellisuudessa 601,57 metriä.

Rampin E1R2 kaarteisuuden CCR selvittäminen ja tätä kautta nopeusennusteen laskeminen on lähtökohtana sille, että voin simuloinnissani käyttää alennettuja nopeusalueita kaarrekohdissa. Rampin E1R2 matka-ajan mittauspisteen kokonaisväli on paalulta 0 paalulle 400 todellisuudessa 409,58 metriä, kuten kuva 10 osoittaa. Rampin kaikkien kuuden geometristen elementtien itseisarvojen kulmanmuutos on 105,9 goonia. Liitteessä 3 on eriteltynä jokaisen rampin kaarrekohdan kulmamuuutos gooneina. Yhteensä ramppi E1R2 käsittää 13 geometristä elementtiä, kun mukaan lasketaan sekä suorat, että kaarteet. Nämä tiedot voidaan sijoittaa kaavaan 1, jolloin saadaan laskettua rampin kaarteisuus CCR.

$$CCR_{E1R2} = \frac{105,9 \text{ gon}}{0,40958 \text{ km}} = 258,56 \text{ gon/km} \quad (4)$$

CCR_{E1R2} paalulta 0 paalulle 400 on 258,56 gon/km. Kyseinen tieosuus kuuluu täten taulukon 4 alimpaan kaarteisuusluokkaan. Ramppi E1R2 sisältää kuitenkin hyvin erisäteisiä kaarteita, joissa todellisuudessa ajetaan erilaisilla nopeuksilla. Tämän vuoksi taulukon 4 nopeusennustemalleissa on otettu huomioon myös kaarresäde. Ennustenoisuus voidaan näin laskea mille tahansa tielinjan elementille. Käytän taulukon 4 alinta ennustemallikaavaa ja sijoitan kaavaan kunkin tie-elementin oman kaarresäteen, saadakseni mahdollisimman tarkat ennustenoisuudet koko rampin E1R2 työntekijän kiertotien matkalta.

Seuraavan sivun kuvassa (kuva 11) näkyy rampin E1R2 kiertotien kaarteet 1–6. Liikenteenohjaussuunnitelmassa LOS_2014_14A määritetyn 60 km/h aluenuosuusrajoituksen vuoksi kaarresäteeltään yli 72 metriä olevan kaarteiden V_{85} -tavoitenuosuus ei taulukon 4 alimman ennustemallin mukaan vaikuta alentavasti ajoneuvon nopeuden valintaan. Tämän voi osoittaa käyttämällä taulukon 4 alimman ennustemallikaavan arvoja sekä johtamalla lauseke säteelle R nopeuden funktiona ja sijoittamalla V_{85} -tavoitenuosuudeksi $V = 60 \text{ km/h}$: (kaava 5)

$$R = \left(\frac{346,62}{100,85 - 60} \right)^2 = 71,998 \text{ m} \quad (5)$$

Kaarteiden 3, 4, 5 ja 6 (kuva 11) ennustenoisuuksia ei tarvitse erikseen määrittää, koska niiden kaarresäteet ovat yli 72 metriä ja tämän vuoksi ajoneuvot pystyvät ajamaan ne ilman kaarresäteestä johtuvaa alennettua ajonopeutta 60 km/h. Samasta syystä yhdenkään Länsiväylän neljän kiertotien aiheuttaman kaarteiden ennustenoisuuksia ei tarvitse erikseen määrittää.



Kuva 11. Havainnekuva rampin E1R2 kiertotien kaarteista 1–6. Ensimmäiset kaksi kaarretta alittavat kaarresäteen 72 m, jonka vuoksi vain näissä kaarteissa kaarresäteellä on alentava vaikutus ajonopeuden valintaan.

Kaarre 1 on säteeltään 40 metriä ja kaarre 2 on säteeltään 33 metriä. Kun näiden kaarteiden sädearvot sijoitetaan taulukon 4 alimpaan ennustemalliin, saadaan ensimmäisen kaarteiden V_{85} -tavoitenopeudeksi 46,04 km/h ja toisen kaarteiden V_{85} -tavoitenopeudeksi 40,51 km/h.

$$V_{85Kaarre1} = 100,85 - \frac{346,62}{\sqrt{40}} = 46,04 \text{ km/h} \quad (6)$$

$$V_{85Kaarre2} = 100,85 - \frac{346,62}{\sqrt{33}} = 40,51 \text{ km/h} \quad (7)$$

Rampin E1R2 ensimmäisen kahden kaarten alennetut nopeusalueet asetetaan kaavojen 6 ja 7 tulosten mukaan simuloimaan kaarresäteen vaikutusta ajonopeuden valintaan. Lisäksi raskaiden ajoneuvojen Normal Deceleration eli ajoneuvojen normaalihidastuvuutta on muutettu oletusarvosta 2 arvoon 1 tehostamaan sekä kuorma-autojen, että linja-autojen hidastuvuustehokkuutta lähestyttäessä kaarteita. Ilman näitä parametrien muutoksia simulointiohjelma ajattaisi ajoneuvot linkin maksiminopeusrajoituksen mukaan ja raskaan liikenteen käyttäytyminen olisi epärealistista näin pienisäteisissä kaarteissa. Kuvassa 12 on kuvakaappaus näistä parametrienmuutoksista. Ajoneuvoluokat ovat pysyneet samana; 10: Car, 20: HGV ja 30: Bus.

Coun	Length	DesSpeedDistr(10)	DesSpeedDistr(20)	DesSpeedDistr(30)	Decel(10)	Decel(20)	Decel(30)
1	78,808	60: 46 km/h	60: 46 km/h	60: 46 km/h	2,00	1,00	1,00
2	56,338	60: 41 km/h	60: 41 km/h	60: 41 km/h	2,00	1,00	1,00

Kuva 12. Kuvakaappaus rampin E1R2 ensimmäisen kahden kaarteiden alennetuista nopeusalueista sekä Normal Deceleration eli normaalihidastuvuuden parametrien arvoista.

8.3 Toimivuustarkastelun suorittaminen

Verkon ollessa valmis myös parametriarvoiltaan voidaan suorittaa toimivuustarkastelu, jossa siis mitataan kahden mittauspistevälin matka-aikoja. Yksi simulointikierron on 3600 sekunnin aikajakso, jonka aikana valittu ajoneuvomäärä syötetään verkolle valitun siemenluvun mukaan. Tämä 3600 sekunnin simulointikierron mallintaa liikennemääriltään yhtä aamuhuippu-tuntia. Alla olevassa kuvakaappauksessa (kuva 13) on yhden simulointikierron matka-aikatulokset. Ajoneuvoluokat ovat pysyneet samana; 10: Car, 20: HGV ja 30: Bus.

Name	TravTm(Current,0,All)	TravTm(Current,0,10)	TravTm(Current,0,20)	TravTm(Current,0,30)
E1R2 --> 0 - 400	31,87 s	31,56 s	41,66 s	39,67 s
Länsiväylä --> 2600 - 3200	36,53 s	36,39 s	39,39 s	36,81 s

Kuva 13. Liikenteenohjaussuunnitelman LOS_2014_14A:n ensimmäisen simulointikierron matka-aikatulokset.

Suoritettuani yhteensä kolme 3600 sekunnin simulointia, laskin matka-aikatulosten keskiarvot. Jokainen simulointisuoritus tehtiin aina eri siemenlukumuutoksella tuomaan lisää ajoneuvosyötteiden satunnaisuutta. Siemenluvulla annetaan simulointiohjelmalle käsky sille, missä syklissä ohjelma syöttää ajoneuvoja tarkasteltavalle verkolle annettujen arvojen puitteissa.

Taulukko 5. Kolmen simuloinnin keskiarvoajat.

Matka-aikojen keskiarvotulokset – LOS_2014_14A				
Nimi	Keskiarvo - kaikki	Keskiarvo - henkilöauto	Keskiarvo – kuorma-auto	Keskiarvo – linja-auto
E1R2 plv 0 – 400	32,08 s	31,71 s	40,50 s	39,25 s
Länsiväylä plv 2600 – 3200	36,48 s	36,36 s	39,09 s	36,93 s

Rampin E1R2 keskinopeus voidaan ratkaista kunkin ajoneuvotyypin osalta jakamalla kuljettu 409,58 metrin matka taulukon keskiarvoajalla. Esimerkiksi henkilöautojen keskinopeus E1R2 paalulta 0 paalulle 400 on 12,92 m/s. Muunnos metreistä sekunneissa kilometreiksi tunnissa tapahtuu kertomalla nopeuden lukuarvo luvulla 3,6, joten tässä tapauksessa henkilöautojen keskinopeus oli 46,51 km/h.

9 KOHTEEN NORMAALILIIKENTEN TOIMIVUUSTARKASTELUVERKON RAKENTAMINEN

Destia avasi rampin E1R2 sekä kt-51 Länsiväylän idän suuntaiselle normaali liikenteelle kokonaisuudessaan, poistamalla työnaikaiset liikennejärjestelyt sekä palautti nopeusrajoitukset takaisin tiesuunnitelman mukaisesti 80 km/h perjantaina 29.4.2016. Länsiväylän lännen suuntainen joukkoliikennekaista kohteen kohdalta oli tällöin vielä työn alla, mutta tämä ei vaikuttanut idän suuntaisen liikenteen sujuvuuteen. Vissimissä mallin rakentaminen aloitetaan jälleen karttakuvan liittämällä ja sen skaalaamisella ohjelman pohjakarttaan. Näin päästään rakentamaan mahdollisimman tarkka liikenneverkko valmiista idän suuntaisesta Länsiväylästä sekä rampista E1R2. Pohjakarttaan liittämäni kuva on ”Suunnitelmakartta M1 plv 2400 – 3300”.

Normaali liikenteelle avattu Helsingin suuntainen Länsiväylän joukkoliikennekaista sekä rampit E1R2 ja E1R6 rakentuu Vissimiin samalla menetelmällä kuin liikenteenohjaussuunnitelman verkkomallinnus, eli linkeistä ja niitä yhdistävistä connectoreista. Valmis verkko koostuu neljästä linkistä ja kolmesta connectorista.

No	Name	LinkBehavType	NumLanes	Length2D
1	Länsiväylä_Itään_2kaistaa	3: Freeway (free lane selection)	2	376,699
2	Länsiväylä_Itään_3kaistaa	3: Freeway (free lane selection)	3	191,189
3	E1R2	1: Urban (motorized)	1	206,155
4	E1R6	1: Urban (motorized)	1	92,937
10000	Länsiväylä 2-kaistaa->3-kaistaa	3: Freeway (free lane selection)	2	74,885
10001	E1R2->Länsiväylä_Connector	3: Freeway (free lane selection)	1	137,806
10002	E1R6->E1R2_Connector	1: Urban (motorized)	1	61,050

Kuva 14. Kuvakaappaus suunnitelmakartan pohjalta rakennetuista verkon linkeistä.

Liikennemäärät, ajoneuvokoostumukset ja niiden virtaussuhde sekä verkon ajoneuvosyöte pisteet pidetään täysin samoina kaikilta arvoiltaan, kuten ne olivat mallinnettaessa liikenteenohjaussuunnitelmaa LOS_2014_14A. Liikennemäärien kannalta tämä tarkoittaa keskimääräisen vuorokausiliikenteen kohteen tieosuudella yhden aamuhuipputunnin aikana Länsiväylän osalta 1750 ajoneuvoa tunnissa ja rampin E1R2 osuudelta 750 ajoneuvoa tunnissa. Tämä yhden aamuhuipputunnin yhteensä 2500 ajoneuvon määrä on 7,5 % koko päivän keskimääräisestä vuorokausiliikennemäärästä.

Käytän jälleen Vehicle Travel Time Measurements työkalua mittaamaan ajoneuvojen matka-aikaa kahden tietyn pisteen välillä. Ensimmäinen mittauspiste (No1) alkaa rampin E1R2 paalulta 0 ja päättyy paalulle 400. Toinen mittauspiste (No2) alkaa Länsiväylän paalulta 2600 ja päättyy paalulle

3200. Kuvakaappauksesta (kuva 15) voidaan havaita, että ilman tietyön aikaista luiskasortuman kiertotietä molempien mittauspisteiden todelliset pituudet ovat samat kuin suunnitelmakartan paalulukemat.

No	Name	StartPos	EndPos	Dist
1	E1R2 --> 0 - 400	42,327	100,035	400,00
2	Länsiväylä --> 2600 - 3200	15,231	148,136	600,00

Kuva 15. kuvakaappaus verkon matka-ajan mittauspisteistä.

Suunnitelmakartan E1R2 kaarteisuus CCR lasketaan kaavan 1 avulla. Rampin ainoan geometrisen elementin ollessa 25,56 gon ja koko tieosuuden ollessa 400 metrin pituinen kaavalla 1 laskettuna valmiin rampin kaarteisuus CCR on 63,9 gon/km. Täten ennustenopeutta määrittäessä tulee käyttää taulukon 4 toisen ennustemallin arvoja. Hyödyntämällä aiemmin johtamaani kaavaa 5 ja syöttämällä siihen taulukon 4 toisen kaavan arvot sekä V_{85} -tavoitenopeuden 80 km/h, saadaan selville, että kaarresäteeltään yli 179,48 metriä olevan kaarteiden V_{85} -tavoitenopeus ei vaikuta alentavasti ajoneuvon nopeuden valintaan.

$$R = \left(\frac{510,56}{118,11 - 80} \right)^2 = 179,479 \text{ m} \quad (8)$$

Rampin ainoan kaarteiden (kuva 15) ennustenopeutta ei tarvitse erikseen määrittää, koska sen kaarresäde on yli 180 metriä. Ilman kaarresäteestä johtuvaa alennettua ajonopeutta, voin asettaa kaikilta linkeiltä syötettävät ajoneuvot kulkemaan tiesuunnitelman mukaista 80 km/h nopeusrajoitusta.



Kuva 16. Suunnitelmakarttaan piirretty rampin E1R2 kaarresäde. Säde on suurempi kuin 180 metriä, jonka vuoksi kaarteella ei ole alentavaa vaikutusta ajonopeuden valintaan.

Käytän lisäksi linkiltä E1R2 syötettävien ajoneuvojen kanssa Desired Acceleration eli ajoneuvon normaalikihtyvyyden parametriarvomuutosta oletusarvosta 1 arvoon 1,5 tehostamaan jokaisen ajoneuvotyyppin kiihtyvyytehokkuutta.



Kuva 17. Valmis ja liikenteelle avattu E1R2 ramppi. Kuva on otettu Järvisillalta länteen.

9.1 Toimivuustarkastelun suorittaminen

Suunnitelmakartan pohjalta rakennettu verkko valmiista, tiesuunnitelman mukaisesta E1R2 rampista ja kt-51 Länsiväylästä on valmis simulointiin ja matka-ajan mittaukseen. Yksi simulointikierrros on 3600 sekunnin aikajakso, jonka aikana valittu ajoneuvomäärä syötetään verkolle valitun siemenluvun mukaan. Tämä 3600 sekunnin simulointikierrros mallintaa liikennemääriltään yhtä aamuhuipputuntia.

No	Name	TravTm(Current,0,All)	TravTm(Current,0,10)	TravTm(Current,0,20)	TravTm(Current,0,30)
1	E1R2 --> 0m - 400m	18,48	18,37	21,24	20,28
2	Länsiväylä --> 2600m - 3200m	25,39	25,37	25,91	25,52

Kuva 18. Ensimmäisen simulointikierrroksen matka-aikatulokset.

Suoritettuani yhteensä kolme 3600 sekunnin simulointia, laskin matka-aikatulosten keskiarvot. Jokainen simulointisuoritus tehtiin aina eri siemenlukumuutoksella tuomaan lisää ajoneuvosyötteiden satunnaisuutta.

Taulukko 6. Verkon kolmen simuloinnin keskiarvoajat.

Matka-aikojen keskiarvotulokset – normaaliliikenne				
Nimi	Keskiarvo - kaikki	Keskiarvo - henkilöauto	Keskiarvo – kuorma-auto	Keskiarvo – linja-auto
E1R2 plv 0 – 400	18,86 s	18,75 s	21,58 s	21,53 s
Länsiväylä plv 2600 – 3200	26,90 s	26,70 s	27,27 s	27,15 s

Taulukko 6 näyttää kolmen simuloinnin matka-aikojen keskiarvot. Rampin E1R2 keskinopeus voidaan ratkaista kunkin ajoneuvotyyppin osalta jakamalla kuljettu 600 metrin matka taulukon keskiarvoajalla. Esimerkiksi kuorma-autojen keskinopeus Länsiväylän paalulta 2600 paalulle 3200 on 22 m/s. Muunnos metreistä sekunneissa kilometreiksi tunnissa tapahtuu

kertomalla nopeuden lukuarvo luvulla 3,6, joten tässä tapauksessa henkilöautojen keskinopeus oli 79,2 km/h.

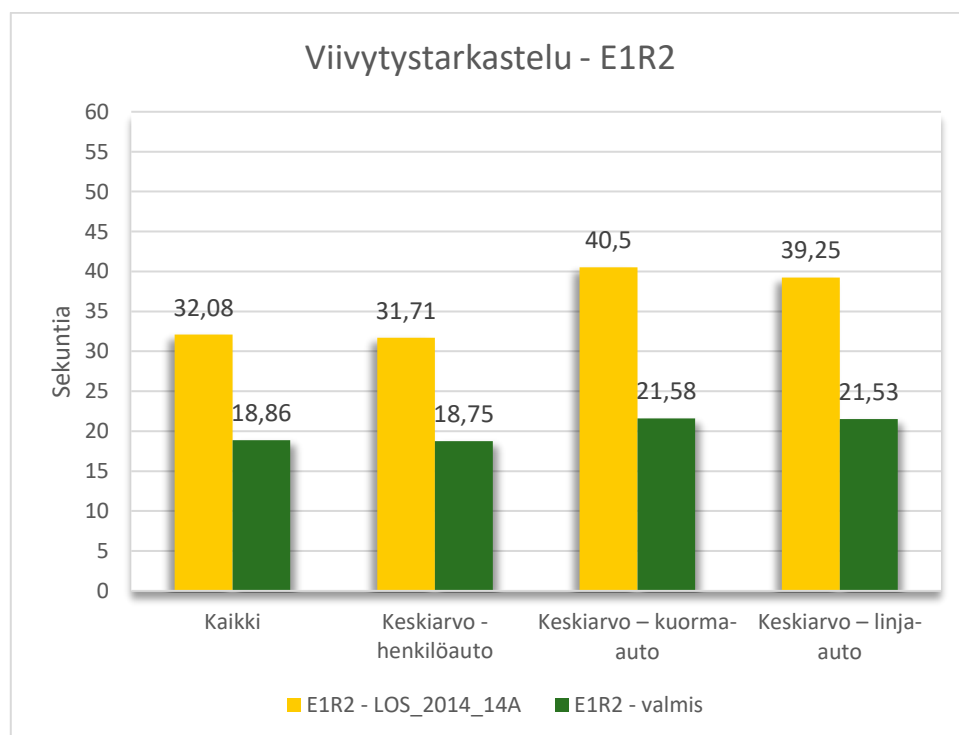
10 TULOKSET

Vissimin simuloinnin animaation ulkoasu on hyvä ja selkeä, mutta tuloksien graafinen ulkoasu ohjelman heikkouksia. Tuloksia, kuten matka-aikavertailun aikoja pystyy Vissimillä tallentamaan ja tulostamaan muun muassa tekstimuotoon niin, että Microsoft Excel osaa rakentaa niistä valmiita kaavioita ilman suurempaa räätälöintiä.

Tarkoituksena oli tutkia liikenteenohjaussuunnitelman LOS_2014_14A toimivuutta arvioimalla sitä viivytystarkastelun näkökulmasta ja verrata tuloksia kohteen valmiiseen tieosuuteen, eli liikenteen normaaliolosuhteeseen. Simuloinnista kerättyä kahden pisteen välistä matka-aikatietoa voi hyödyntää viivytystarkastelun lisäksi myös keskinopeuden laskemiseen, kun tiedossa on myös kuljettu matka.

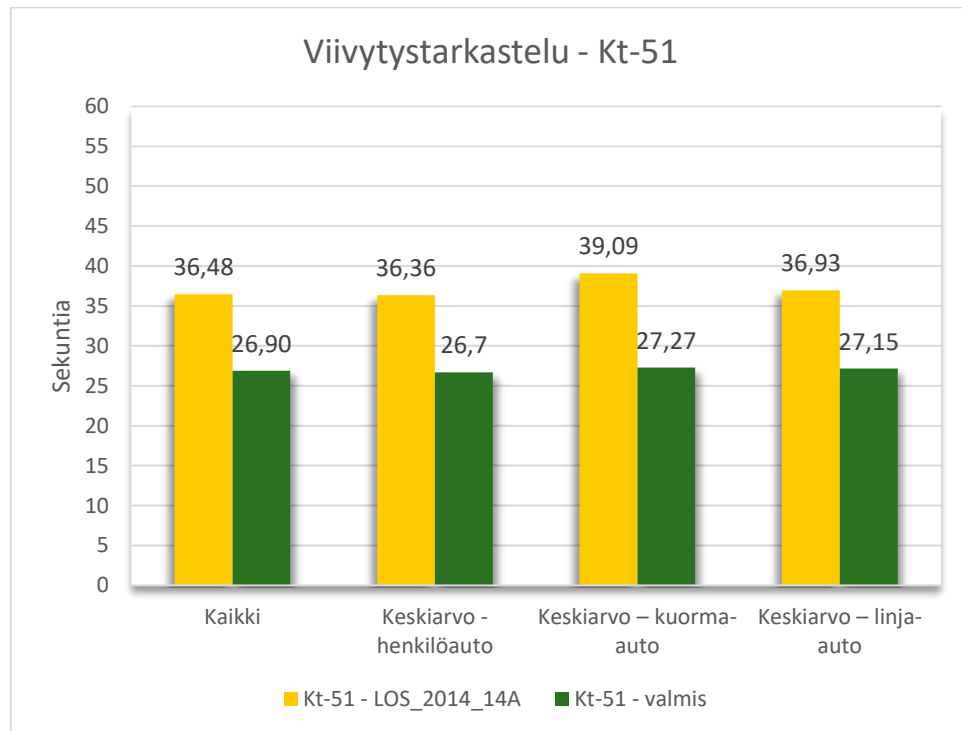
10.1 Viivytystarkastelun tulokset

Viivytystarkastelua tehtiin kahdelta eri tieosuudelta, Länsiväylän paaluväliltä 2600-3200 sekä rampin E1R2 paaluväliltä 0-400. Alla olevassa pylväsdiagrammissa (kuva 19) on viivytystarkastelu rampin E1R2 työnaikaisen liikennejärjestelyn ja valmiin rampin matka-ajoista.



Kuva 19. Rampin E1R2 matka-aikavertailu työnaikaisen liikenteenohjauksen sekä valmiin normaaliliikenteen väliltä.

Kuvasta 19 nähdään, että työnaikaisella liikennejärjestelyllä oli selkeä hidastava vaikutus matka-aikaan. Kaikkien ajoneuvotyyppien matka-ajan keskiarvo simulointimallissa LOS_2014_14A oli 32,08 sekuntia, kun valmiin rampin matka-aika oli vain 18,86 sekuntia. Tämä on 13,22 sekunnin ero. Raskaan liikenteen osalta rampin matka-ajan ero oli vielä suurempi. Kuorma-autoilla (HGV) kesti ajaa ramppi E1R2 työnaikaisen kiertotien kautta paalulta 0 paalulle 400 keskimäärin 40,5 sekuntia, kun valmiin rampin läpiajamiseen kului aikaa 21,58 sekuntia. Matka-ajan ero on 18,92 sekuntia.



Kuva 20. Kt-51 Länsiväylän matka-aikavertailu työnaikaisen liikenteenohjauksen sekä valmiin normaaliliikenteen väliltä.

Kuvasta 20 nähdään, että työnaikaisella liikennejärjestelyllä oli myös hidastava vaikutus Länsiväylän paaluvälin 2600-3200 matka-aikaan. Kaikkien ajoneuvotyyppien matka-ajan keskiarvo simulointimallissa LOS_2014_14A oli 36,48 sekuntia, kun valmiin Länsiväylän osalta matka-aika oli 26,90 sekuntia. Tämä on 9,58 sekunnin ero matka-ajassa.

10.2 Keskinopeusvertailu

Keskinopeus kahden pisteen välillä saadaan, kun tiedetään kuljettu matka. Simulaation työnaikaisessa liikennejärjestelyssä ajoneuvot kulkivat joko rampin 409,58 metrin matkan tai Länsiväylän 601,57 metrin matkan. Normaaliliikenteen simuloinnissa ajoneuvot kulkivat suunnitelmakartan mukaisen reitin, eli rampin 400 metrin matkan tai Länsiväylän 600 metrin matkan. Näillä arvoilla laskin jokaisen ajoneuvotyyppin keskinopeussuhteen kuljetulle matkoille kahden eri simulaatiomallin välille.

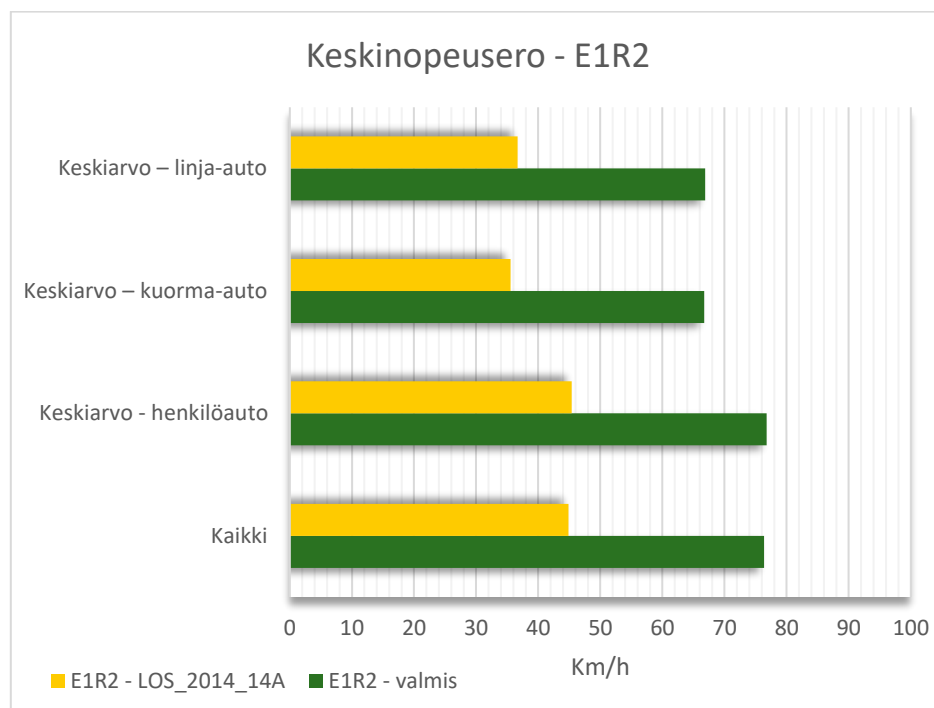
Taulukko 7. Keskinopeusvertailu työnaikaisen ja valmiin E1R2 rampin välillä.

Keskinopeusvertailu – E1R2				
	Kaikki	Keskiarvo - henkilöauto	Keskiarvo – kuorma-auto	Keskiarvo – linja-auto
E1R2 – LOS (60 km/h)	44,89 km/h	45,41 km/h	35,56 km/h	36,69 km/h
E1R2 – valmis (80 km/h)	76,35 km/h	76,80 km/h	66,73 km/h	66,88 km/h

Taulukko 8. Keskinopeusvertailu työnaikaisen ja valmiin Länsiväylän välillä.

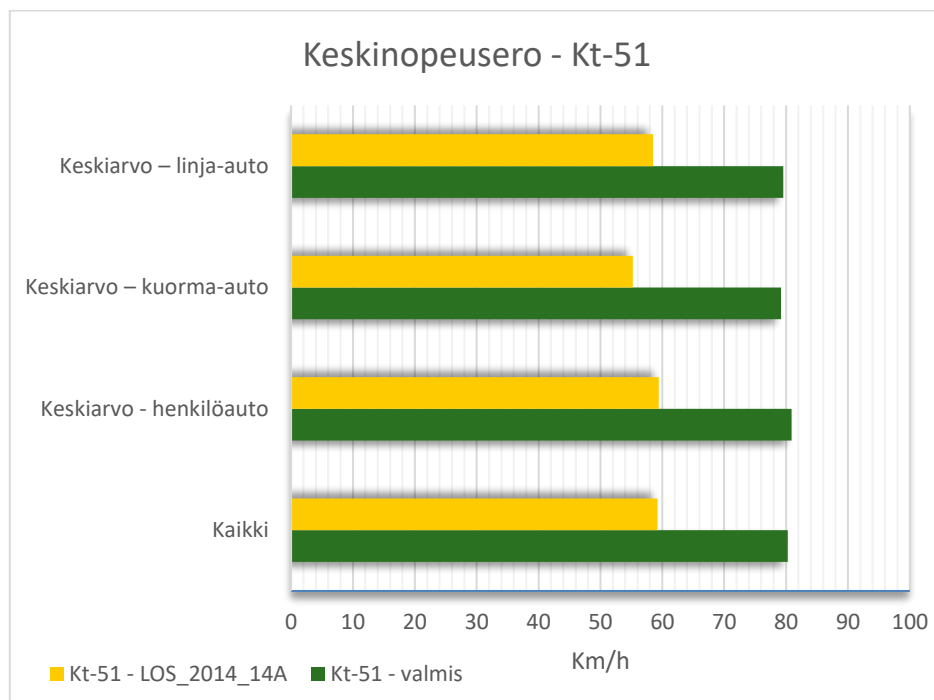
Keskinopeusvertailu – Länsiväylä				
	Kaikki	Keskiarvo - henkilöauto	Keskiarvo – kuorma-auto	Keskiarvo – linja-auto
Kt-51 – LOS (60 km/h)	59,21 km/h	59,41 km/h	55,26 km/h	58,49 km/h
Kt-51 – valmis (80 km/h)	80,30 km/h	80,90 km/h	79,21 km/h	79,56 km/h

Kuvien 21 ja 22 palkkidiagrammit näyttävät keskinopeusvertailun työnaikaisen liikennejärjestelyn ja normaaliliikenteen välillä graafisesti. Työnaikaisessa rampissa nopeusrajoituksen ollessa 60 km/h oli kaikkien ajoneuvojen keskinopeus 44,89 km/h. Valmiin rampin keskinopeus oli 76,35 km/h, nopeusrajoituksen ollessa 80 km/h. Vaikka työnaikainen nopeusrajoitus oli 20 km/h pienempi, oli nopeuskeskiarvon ero todellisuudessa 31,46 km/h. Tämä on selitettävissä pienten kaarresäteiden aiheuttamista alennetuista ajonopeuksista. Kaarresäteestä johtuva alennettu ajonopeus näkyykin paljon selkeämpänä keskinopeuserona rampilla E1R2 (kuva 21), kuin Länsiväylällä. (kuva 22).



Kuva 21. Keskinopeusvertailu työnaikaisen liikennejärjestelyn ja normaali liikenteen välillä rampilla E1R2.

Raskaan liikenteen keskinopeuseron selittää raskaiden ajoneuvojen Normal Deceleration eli ajoneuvojen normaalihidastuvuus parametrin muutos. Oletusarvomuuotos tehtiin arvosta 2 arvoon 1 tehostamaan sekä kuorma-autojen, että linja-autojen hidastuvuustehokkuutta lähestyttäessä kaarteita.



Kuva 22. Keskinopeusvertailu työnaikaisen liikennejärjestelyn ja normaali liikenteen välillä Länsiväylällä.

Länsiväylän työnaikaisen ja normaaliliikenteen keskinopeuseron selittää hyvin pitkälti tietyönaikaiset alennetut nopeusrajoitukset. Mielenkiintoisena lisähuomiona on se, että henkilöautojen keskinopeus valmiilla länsiväylällä oli 80,90 km/h nopeusrajoituksen ollessa 80 km/h.

Kummankaan verkon välityskyvyssä ei havaittu eroja, oli kyseessä sitten työnaikainen liikennejärjestely tai valmis suunnitelmakartan mukainen verkkomalli. Molemmissa malleissa oli simulointien aikana sama kuormitusaste. Tämän näki Vissimissä siitä, kuinka verkoilla olevien ajoneuvojen määrä pysyi samalla tasolla jokaisen simulointikierron ajan. Verkolla olevien ajoneuvojen määrä oli jatkuvasti noin 50 ± 5 kpl. Toisin sanoen, verkolta poistuvien ajoneuvojen suhde pysyi verkolle syötettävien ajoneuvojen kanssa samana. Tästä voidaan päätellä, että työnaikaisessa liikennejärjestelyssä ei ollut sellaisia merkittäviä liikennettä rasittavia tekijöitä tai pulonkaloja, jotka olisivat vaikuttaneet verkon välityskykyyn.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työnaikaisten liikennejärjestelyiden sekä tilapäisten liikenteenohjauksen tärkeyttä ei voida vähätellä. Onnistunut liikenteenohjaussuunnitelma ja sitä kautta toteutettava tietyömaan väliaikainen liikennejärjestely on liikenneturvallisuuden lisäksi erittäin tärkeässä roolissa työmaan turvallisuuden ja tehokkuuden kanssa. Huolella suunnitellut ja toteutetut liikennejärjestelyt eivät aiheuta ruuhkia eivätkä vaaratilanteita yhdellekään osapuolelle.

Ajoneuvon kuljettajan ajokäyttäytymiseen vaikuttavat lukuisat eri tekijät, kuten vallitsevat keliolosuhteet, ajettava tie tai tieosuus ja sen kunto sekä tien pysty- ja vaakageometria. Tiegeometrialla ja etenkin kaarresäteellä on selkeitä vaikutuksia ajonopeuden valintaan, kuten tuloksista pystyy tulkitsemaan. Työnaikaisten liikennejärjestelyiden läpi ajavan kuljettajan tavoitenopeuteen vaikuttavat tämän lisäksi kuljettajan motivaatio- ja tunnetekijät, mutta tietenkin myös kuljettajan oma fyysinen ja henkinen olotila. Nämä ovat kuljettajan niin sanottuja ylimääräisiä motiiveja, joita syntyy työnaikaisten liikennejärjestelyiden aiheuttamissa liikenteen poikkeusolosuhteista. Näiden vaikutusten tutkiminen liikenteen toimivuuden tai turvallisuuden näkökulmasta onkin paljon vaikeampaa, etenkin jos niitä pyritäisiin simuloimaan.

Näkemykseni kohdalta simulointimallit antavat vähänkään monipuolisemmasta työnaikaisesta liikennejärjestelystä vain karkealla tasolla olevia toimivuustarkastelutuloksia, etenkin jos tutkitaan tavoitenopeuksia tai pitkäaikaisia viivytysaikavertailuja. Liikennesuunnittelun näkökulmasta liikenteenohjaussuunnitelmien simulointitarkasteluihin kannattaa suhtautua hyvin varautuvasti tai vähintäänkin suuntaa antavasti, sillä läheskään kaikkia kuljettajaan vaikuttavia käyttäytymistekijöitä ei voida mallintaa sillä varmuudella, kuinka ne oikeasti satunnaisuudellaan toteutuisivat. Työmaan häiriötekijät, tai itse työnaikaisen liikennejärjestelyn toteutus- ja

purkuvaihe ovat mainitakseni vain muutamia lisätekijöitä, joiden mallintaminen olisi miltei mahdotonta. Oman näkemykseni sekä saamieni tulosten perusteella voin todeta, että pienilläkin Vissimin parametriarvon muutoksilla voidaan saada suuria, suorastaan vääristeleviä muutoksia aikaan.

Olen joka tapauksessa tyytyväinen työhöni ja saamiini tietoihin, vaikka simulointikohde olisi voinut olla verkoltaan suurempi tai monimutkaisempi. Malli työnaikaisesta kiertoliittymästä olisi helposti tuonut paljon monipuolisempia tuloksia viivytystarkastelun kannalta. Toisaalta simulointiohjelman vaihtaminen kokonaan Paramicsista Vissimiin opinnäytetyöni puolimatassa toi riittävän määrän haasteita, kun opeteltavana oli kokonaan uusi arkkitehtuuri ja käyttöliittymä.

Lähtötietoina saadut suunnitelmakartat, liikenteenohjaussuunnitelmat sekä muut hankkeen perustiedot toimivat hyvänä pohjana opinnäytetyöni alullepanossa. Suurin haaste oli tietenkin itse simuloinnissa, koska ohjelma oli minulle täysin uusi ja opettelin sen käytön pelkän tuhat sivuisen, englanninkielisen ohjekirjan avulla. Yllätyksekseni mielenkiintoisin vaihe opinnäytetyöni tekemisessä ei ollut itse simulointi, vaan Paolo Percon tutkimusmateriaalin - Influence of the General Character of the Horizontal Alignment on the Operating Speed of Two-Lane Rural Roads (2007) - lukeminen ja oppimani käsitys kaarresäteen vaikutuksesta ajonopeuden valintaan.

LÄHTEET

Finlex 31.8.1978/669. (1978). *Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta*. Haettu 14.1.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1978/19780669>

Liikennevirasto. (2016). *Hankkeet*. Haettu 11.11.2016 osoitteesta: <http://www.liikennevirasto.fi/lansivayla#.V l8eeCLQ-V>

Liikennevirasto. (2016). *Maksuvaatimus tilaajalle 21.9.2016*.

Liikennevirasto. (2017). *Liikenneviraston LAM-kirjat 2016*. Haettu 23.5.2017 osoitteesta: <http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23735/Uusimaa+2016+%28pdf%29.pdf/58382345-1e83-4ec3-910e-a4ea9f320239>

Liikenneviraston ohje 2/2015. (2015). *Liikenne työmaalla – Yleiset käytännöt ja turvallisuusvaatimukset*. Haettu 18.1.2017 osoitteesta: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-02_liikenne_tiety-omaalla_web.pdf

Liikenneviraston ohjeita 36/2013. (2013). *Tieliikenteen toimivuuden arviointi*. Haettu 25.10.2016 osoitteesta: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-36_tieliikenteen_toimivuuden_web.pdf

Liikenneviraston tutkimuksia ja esiselvityksiä 37/2012. (2012). *Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt*. Haettu 5.5.2017 osoitteesta: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-37_liikenteen_valityskyky_web.pdf

PTV Group. (2017). PTV Vissim -kotisivu. Haettu 31.3.2017 osoitteesta: <http://www.ptvgroup.com/en/ptv-group/company-profile/>

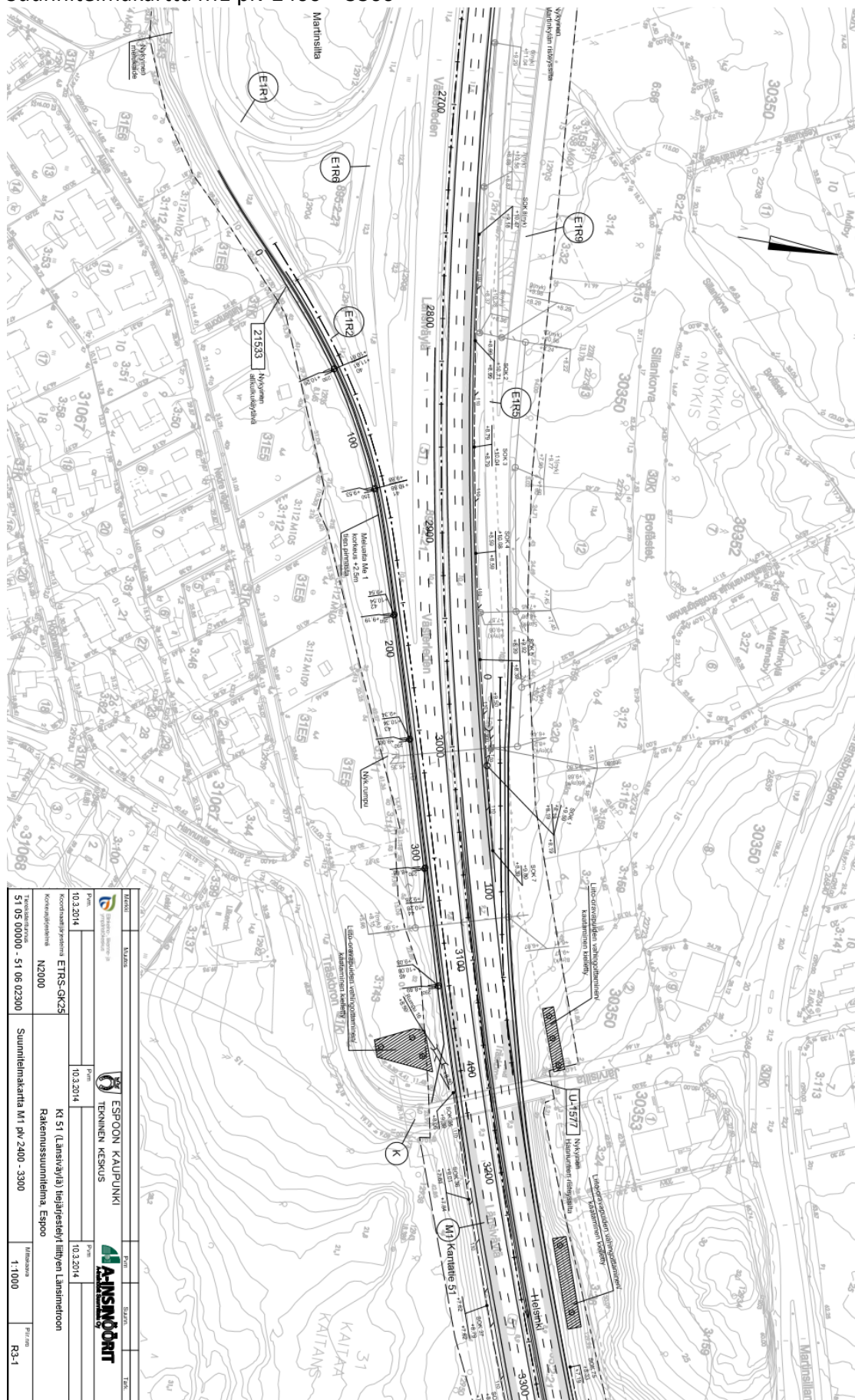
Suomen kuntatekniikan yhdistys 1/2013. (2013). *Tilapäiset liikennejärjestelyt katu- ja yleisillä alueilla*. Viitattu 72 s.

Tiehallinnon selvitys 18/2009. (2009). *Tiegeometrian vaikutukset ajokäyt-täytymiseen*. Haettu 19.4.2017 osoitteesta: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201132-v_tiegeometr_vaik_ajokaytt.pdf

Tiehallinnon selvityksiä 55/2007. (2007). *Tieliikenteen palvelutason määrittäminen*. Haettu 20.02.2017 osoitteesta: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201080-vtieliikent_palvelutason_maarittam.pdf

Urakkaohjelma. (2014). *Kt 51 Länsiväylä, Länsimetron liityntäyhteydet, KU*. Julkaistu 6.6.2014. Viitattu 1.2.2017.

Suunnitelmakartta M1 plv 2400 – 3300



[illegible]

[illegible]